

**ESTUDO COMPARATIVO SOBRE A PERMEABILIDADE
DAS ALVENARIAS EM BLOCOS CERÂMICOS E
ALVENARIAS EM BLOCOS DE CONCRETO**

Alex Fabiano Hattge

Porto Alegre
janeiro 2004

ALEX FABIANO HATTGE

**ESTUDO COMPARATIVO SOBRE A PERMEABILIDADE
DAS ALVENARIAS EM BLOCOS CERÂMICOS E
ALVENARIAS EM BLOCOS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Mestrado
Profissionalizante da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Engenharia na modalidade Profissionalizante

Porto Alegre
janeiro 2004

HATTGE, Alex Fabiano

Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto/ Alex Fabiano Hattge. – Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2004.

n p. 136

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
Dissertação de mestrado. Orientador: Ronaldo Bastos Duarte.

1. Assunto I. Título

CCAA2

ALEX FABIANO HATTGE

**ESTUDO COMPARATIVO SOBRE A PERMEABILIDADE
DAS ALVENARIAS EM BLOCOS CERÂMICOS E
ALVENARIAS EM BLOCOS DE CONCRETO**

Este trabalho de conclusão foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 30 de outubro de 2004

Prof. Ronaldo Bastos Duarte
PhD pela University of Edinburgh/Grã-Bretanha
Orientador

Prof.a Helena Beatriz B. Cybis
Coordenadora do Mestrado Profissionalizante EE/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof.a Ângela Borges Masuero/UFRGS
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Cláudio de Souza Kazmierczak/UNISINOS
Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof. Ruy Alberto Cremonini/UFRGS
Dr. pela Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha esposa
Simone, pelo carinho e motivação.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Ilse, pelo exemplo de vida, carinho, apoio e incentivo constante durante esta jornada.

Ao meu pai, Claudio, pelo apoio irrestrito, paciência e incentivo no transcurso dos meus estudos.

À minha esposa, Simone Gabriela, pelo amor, compreensão, paciência ao longo dos vários meses de desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do curso de mestrado profissionalizante, turma de 2000, pela amizade, companheirismo e pelo crescimento pessoal e profissional que adquiri, ao longo de nosso convívio.

Um agradecimento muito especial ao Prof. Ronaldo Bastos Duarte, pelo auxílio, amizade e orientação prestada ao longo deste trabalho.

Meus agradecimentos aos professores Ângela Borges Masuero, Carin Maria Schmitt, Cláudio de Souza Kazmierczak e Ruy Alberto Cremonini, pelas sugestões e orientações para o enriquecimento desta dissertação.

Aos demais professores do Núcleo Orientado para Inovação da Edificação - NORIE/UFRGS, que com seus conhecimentos e experiência profissional, transmitiram valiosos ensinamentos que serão úteis a mim, ao longo de minha carreira profissional.

Aos amigos da Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, pelo apoio, auxílio, presteza demonstrados durante a realização dos ensaios deste trabalho.

Aos funcionários do laboratório do NORIE/UFRGS, pelo apoio.

Aos funcionários da biblioteca do curso de engenharia civil, pela paciência e auxílio na revisão bibliográfica e na elaboração da ficha catalográfica.

Às empresas Cerâmica Pauluzzi e Tecmold pela doação dos blocos utilizados no presente estudo.

Aos demais familiares e amigos que, ao longo de toda esta etapa de minha vida, estiveram ao meu lado para me auxiliar e contribuir, dentro das possibilidades de cada um, para o desenvolvimento desta dissertação.

RESUMO

HATTGE, A.F. **Estudo Comparativo Sobre a Permeabilidade das Alvenarias em Blocos Cerâmicos e Alvenarias em Blocos de Concreto**. 2004. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.

A umidade constitui-se em uma das principais manifestações patológicas que afligem os usuários de edificações. Procura-se, neste trabalho, abordar as diversas características dos materiais, bem como, os fenômenos e propriedades físicas que agem no sentido de propiciar a penetração de umidade nas alvenarias.

Neste trabalho, analisa-se o desempenho de alvenarias compostas por unidades de blocos cerâmicos e blocos de concreto, quanto à penetração de umidade. São apresentados métodos de ensaios concebidos para avaliação da estanqueidade em paredes e, dentre estes, três métodos de ensaio usualmente utilizados pelo meio técnico são empregados na análise da capacidade estanque, no sentido de se proceder a um estudo comparativo do desempenho das alvenarias de blocos cerâmicos e de concreto, com e sem revestimento.

Palavras-chave: unidades de alvenaria; umidade; métodos de ensaio.

ABSTRACT

HATTGE, A.F. **Estudo Comparativo Sobre a Permeabilidade das Alvenarias em Blocos Cerâmicos e Alvenarias em Blocos de Concreto**. 2004. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.

Dampness is one of the main pathologies that affect the users of buildings. In this assignment, many characteristics of materials are approached, as well as, the phenomenals and physicals properties of materials that contribute to the penetration of dampness into masonry.

In this study, the performance of ceramic and concrete blockwork are analysed in respect to dampness penetration. Analyses methods conceived to evaluate the draining in walls are presented, and from among these, three test methods have been used to analyse the draining capacity of wall panels, in order to pursue a comparative performance study of ceramic and concrete blockworks, with or without rendering.

Palavras-chave: bricks; dampness; analyses methods.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE QUADROS	14
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	21
2 UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES	23
2.1 FÍSICA DO TRANSPORTE DE UMIDADE NOS MATERIAIS	23
2.1.1 Considerações iniciais	23
2.1.2 Teor de umidade	24
2.1.3 Mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais	26
2.1.3.1 Transporte do vapor d'água por difusão	26
2.1.3.2 Transporte do vapor d'água por convecção	30
2.1.3.3 Transporte de água por capilaridade	30
2.1.3.3.1 <i>Tensão superficial</i>	31
2.1.3.3.2 <i>Formação do menisco</i>	33
2.1.3.3.3 <i>Forças de aspiração ou expulsão capilar</i>	36
2.1.3.4 Transporte de água por forças de gravidade e externas	39
2.2 MECANISMOS DE TRANSPORTE DA UMIDADE NAS ALVENARIAS	39
2.3 FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA UMIDADE	43
2.3.1 Umidade ascensional do solo ou do terreno	43
2.3.2 Umidade de precipitação	47
2.3.3 Umidade de condensação	49
2.3.3.1 Noções gerais sobre ar úmido	49
2.3.3.2 Condensações superficiais	51
2.3.3.3 Condensações internas	52
2.3.4 Umidade devido a fenômenos de higroscopicidade	54
2.3.5 Umidade de construção	55
2.3.6 Umidade acidental	56
3 ALVENARIAS	57
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	57
3.2 UNIDADES DE ALVENARIA	58
3.3 ARGAMASSAS	61
3.3.1 Funções das argamassas	63

3.3.2 Propriedades das argamassas	64
3.3.2.1 Propriedades no estado fresco	64
3.3.2.1.1 <i>Trabalhabilidade</i>	64
3.3.2.1.2 <i>Retenção de água</i>	65
3.3.2.2 Propriedades no estado endurecido	67
3.3.2.2.1 <i>Resiliência</i>	67
3.3.2.2.2 <i>Aderência</i>	69
3.3.2.2.3 <i>Permeabilidade</i>	71
3.3.2.2.4 <i>Retração na secagem</i>	72
4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE PAREDES UTILIZADOS NA PESQUISA EXPERIMENTAL	75
4.1 MÉTODO DO CACHIMBO	76
4.1.1 Objetivos e aplicações	76
4.1.2 Aparelhagem	77
4.1.3 Procedimentos para a realização do ensaio	78
4.2 MÉTODO DE AVALIAÇÃO <i>IN SITU</i> DA PERMEABILIDADE À ÁGUA DE FACHADAS E DIVISÓRIAS	80
4.2.1 Objetivos e aplicações	80
4.2.2 Aparelhagem	80
4.2.3 Procedimentos para a realização do ensaio	81
4.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE À ÁGUA EMPREGADO PELA FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – CIENTEC	83
4.3.1 Objetivos e aplicações	83
4.3.2 Aparelhagem	83
4.3.3 Procedimentos para realização do ensaio	84
5 MATERIAIS E MÉTODOS DE ENSAIO	86
5.1 TIPOLOGIA DAS PAREDES ENSAIADAS	86
5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	90
5.2.1 Bloco cerâmico.	90
5.2.2 Bloco de concreto	92
6 RESULTADOS DOS ENSAIOS	94
6.1 MÉTODO DO CACHIMBO – RESULTADOS	94
6.1.1 Bloco cerâmico sem revestimento	94
6.1.2 Bloco de concreto sem revestimento	96
6.1.3 Bloco cerâmico com revestimento	99
6.1.4 Bloco de concreto com revestimento	102

6.2 MÉTODO DO IPT – RESULTADOS	105
6.2.1 Bloco cerâmico sem revestimento	105
6.2.2 Bloco de concreto sem revestimento	105
6.2.3 Bloco cerâmico com revestimento	105
6.2.4 Bloco de concreto com revestimento	107
6.3 MÉTODO DA CÂMARA DE ESTANQUEIDADE DA CIENTEC - RESULTADOS	110
6.3.1 Bloco cerâmico sem revestimento	110
6.3.2 Bloco de concreto sem revestimento	116
6.3.3 Bloco cerâmico com revestimento	119
6.3.4 Bloco de concreto com revestimento	120
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS	121
7.1 PAINÉIS DE ALVENARIA SEM REVESTIMENTO	121
7.2 PAINÉIS DE ALVENARIA COM REVESTIMENTO	124
7.3 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE ENSAIO	127
8 CONCLUSÕES	129
REFERÊNCIAS	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: incidência de patologias segundo a CIENTEC	18
Figura 2: manifestações patológicas proveniente de umidade em blocos de concreto sem revestimento	19
Figura 3: incidência de patologias	19
Figura 4: diferentes categorias de poros	24
Figura 5: representação esquemática dos teores de umidade de um material	25
Figura 6: representação esquemática da difusão do vapor d'água	26
Figura 7: tensão superficial	32
Figura 8: tensões intermoleculares	32
Figura 9: variação da tensão superficial da água com a variação da temperatura	33
Figura 10: forças que agem sobre uma molécula de um líquido em contato com um sólido	34
Figura 11: formação do menisco quando a água entra em contato com a superfície de um sólido	35
Figura 12: altura da ascensão capilar da água entre duas superfícies	36
Figura 13: ângulo de contato entre o menisco d'água e a superfície	38
Figura 14: força de ascensão capilar x umidade relativa	38
Figura 15: ação de uma força em um capilar cheio de água	41
Figura 16: forças produzindo penetração da chuva	42
Figura 17: altura atingida pela água nas paredes, em função das condições de evaporação	44
Figura 18: trinca horizontal na base de alvenaria por efeito da umidade do solo	46
Figura 19: variação das alturas atingidas pela umidade do terreno em paredes interiores e exteriores, em função do tipo de alimentação	47
Figura 20: diagrama psicrométrico	50
Figura 21: perda de água da argamassa em função da sucção dos blocos – tempo de contato 4 minutos	60
Figura 22: relação entre sucção inicial e extensão de adesão	61
Figura 23: evolução das tensões de tração ao longo do tempo nos revestimentos em argamassas	68
Figura 24: ilustração de movimentos de retração e expansão no concreto	73
Figura 25: cachimbo de vidro conforme especificação do <i>Centre Scientifique et Technique de la Construction</i>	77
Figura 26: avaliação de estanqueidade pelo método do cachimbo – vista lateral	79
Figura 27: avaliação de estanqueidade pelo método do cachimbo – vista frontal	79

Figura 28: câmara para ensaio de permeabilidade <i>in situ</i> de paredes	81
Figura 29: ensaio de permeabilidade - método do IPT.....	82
Figura 30: vista do acoplamento da câmara de ensaio à parede – método do IPT.....	82
Figura 31: câmara para ensaio de permeabilidade de paredes – método da CIENTEC ..	84
Figura 32: corpos de prova ensaiados	86
Figura 33: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – corpo dos blocos cerâmicos	96
Figura 34: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – juntas verticais dos blocos de concreto	97
Figura 35: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 4	100
Figura 36: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 6	101
Figura 37: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 1	103
Figura 38: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 5	104
Figura 39: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco cerâmico - corpo de prova 4	106
Figura 40: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco cerâmico - corpo de prova 6	107
Figura 41: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 1	108
Figura 42: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 3	109
Figura 43: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 5	109
Figura 44: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 2 - tempo de ensaio: 90 minutos da 1ª. etapa	111
Figura 45: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 2 - tempo de ensaio: 120 minutos da 2ª. etapa	112
Figura 46: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 4 - tempo de ensaio: 120 minutos da 1ª. etapa	113
Figura 47: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 4 - tempo de ensaio: 15 minutos da 2ª. etapa	114
Figura 48: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 6 - tempo de ensaio: 15 minutos da 1ª. etapa	115
Figura 49: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 6 - tempo de ensaio: 150 minutos da 1ª. etapa	116

Figura 50: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco de concreto - corpo de prova 1 - tempo de ensaio: anterior a 5 minutos da 1ª. etapa..	117
Figura 51: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco de concreto - corpo de prova 3 - tempo de ensaio: 5 minutos da 1ª. etapa	118
Figura 52: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco de concreto - corpo de prova 5 - tempo de ensaio: 5 minutos da 1ª. etapa	119
Figura 53: média de absorção total de umidade	122
Figura 54: média de absorção inicial de umidade	123
Figura 55: absorção de umidade – blocos de concreto com revestimento – método do IPT	125
Figura 56: absorção de umidade – blocos cerâmicos com revestimento – método do IPT	125
Figura 57: comparativo de absorção de umidade – blocos cerâmicos e blocos de concreto com revestimento – método do IPT	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: dimensões dos poros, fissuras e rachaduras nos materiais	24
Quadro 2: valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de materiais de construção, em estado seco	28
Quadro 3: valores de permeabilidade e permeância ao vapor d'água de alguns materiais de construção	29
Quadro 4: ordem de grandeza de forças de penetração de água	37
Quadro 5: pressão de saturação do vapor d'água (p') e o teor máximo de vapor d'água (x_s)	52
Quadro 6: classificação das unidades de alvenaria	58
Quadro 7: traços de argamassas recomendados	87
Quadro 8: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco cerâmico - corpo de prova 4	106
Quadro 9: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco cerâmico - corpo de prova 6	106
Quadro 10: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 1	107
Quadro 11: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 3	108
Quadro 12: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 5	109
Quadro 13: resultados do ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 2	110
Quadro 14: resultados do ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 4	112
Quadro 15: resultados do ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 6	114
Quadro 16: comparativo dos ensaios experimentais	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: distribuição de problemas encontrados em pesquisa realizada pelo IPT em 36 conjuntos habitacionais do Estado de São Paulo	17
Tabela 2: frequência de problemas de umidade, segundo pesquisa realizada pelo IPT, em 36 conjuntos habitacionais do Estado de São Paulo	17
Tabela 3: frequência de problemas de umidade no Bororé	18
Tabela 4: natureza das falhas em edificações, em alguns países	20
Tabela 5: resultados dos ensaios de absorção de água – blocos cerâmicos	91
Tabela 6: resultados dos ensaios de absorção inicial de água - blocos cerâmicos	91
Tabela 7: resultados dos ensaios de resistência à compressão - blocos cerâmicos	91
Tabela 8: resultados dos ensaios de absorção de água - blocos de concreto	92
Tabela 9: resultados dos ensaios de absorção inicial de água - blocos de concreto	92
Tabela 10: resultados dos ensaios de resistência à compressão - blocos de concreto	93
Tabela 11: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - juntas verticais dos blocos cerâmicos - sem revestimento (ml)	94
Tabela 12: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – juntas horizontais dos blocos cerâmicos - sem revestimento (ml)	95
Tabela 13: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – corpo dos blocos cerâmicos - sem revestimento (ml)	95
Tabela 14: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – juntas verticais dos blocos de concreto - sem revestimento (ml)	97
Tabela 15: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - juntas horizontais dos blocos de concreto - sem revestimento (ml)	98
Tabela 16: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – corpo dos blocos de concreto - sem revestimento (ml)	98
Tabela 17: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 2 (ml)	99
Tabela 18: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 4 (ml)	100
Tabela 19: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 6 (ml)	101
Tabela 20: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 1	102
Tabela 21: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 3	103
Tabela 22: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 5	104

1 INTRODUÇÃO

Remonta a antigüidade o emprego das alvenarias pelo homem, processo construtivo derivado em um primeiro momento do empilhamento de rochas fragmentadas e, posteriormente, dos muros de pedras (cantarias). Muitas construções milenares, dos egípcios e dos romanos particularmente, permanecem até hoje como testemunhos vivos da história da humanidade e da própria história das alvenarias.

Tradicionalmente pesadas, espessas e rígidas, as alvenarias evoluíram, acompanhando a própria evolução do homem, para as lâminas consideravelmente delgadas dos nossos dias, com o uso de produtos com alta agregação de tecnologia e processos de produção intensivamente industrializados. Paulatinamente, os componentes de alvenaria foram desenvolvidos tendo como horizonte o material de construção ideal, que deve ser o mais barato, resistente, durável e leve possível. Neste último aspecto, a evolução tecnológica apontou, de um lado, para a invenção de materiais com baixa massa específica aparente (enquadrando-se aí os concretos celulares), e de outro, para os componentes vazados (blocos de concreto, cerâmicos, sílico-calcários, etc.) que representaram, em meados do século XX, uma verdadeira revolução na história das alvenarias.

Como decorrência natural da busca dos quatro objetivos ideais (materiais leves, resistentes, duráveis e de baixo custo), e da própria evolução das técnicas de projeto e execução de obras, começaram a surgir com maior freqüência problemas de falhas nas construções como um todo e, nas alvenarias, como uma das principais partes integrantes de quase todos os tipos de obras (THOMAZ, 1990, p. 97).

Em pesquisa realizada pelo IPT sobre patologias da construção, em 1980, foram visitados 36 conjuntos habitacionais no interior do Estado de São Paulo e foi constatada a distribuição de problemas, apresentada na tabela 1.

Tabela 1: distribuição de problemas encontrados em pesquisa realizada pelo IPT em 36 conjuntos habitacionais do Estado de São Paulo

Tipo de construção	Idade do edifício	Problemas típicos		
		Umidade	Trincas	Descolamento de revestimento
Casas térreas	1-3 anos	42%	29%	29%
	4-7 anos	50%	25%	25%
	> 8 anos	37%	35%	28%
Apartamentos	1-3 anos	52%	35%	7%
	4-7 anos	86%	14%	-
	> 8 anos	82%	12%	6%

Fonte: IOSHIMOTO, 1988, p. 547

Os dados relativos a incidência de patologias relativas à umidade podem ser divididas, segundo o mesmo levantamento, como apresentado na tabela 2.

Tabela 2: freqüência de problemas de umidade, segundo pesquisa realizada pelo IPT, em 36 conjuntos habitacionais do Estado de São Paulo

Idade	Incidência relativa de patologias devida a (%)				
	Infiltração	Condensação	Solo	Acidental	Diversos
1 a 3	70	6	2	12	10
4 a 7	78	6	-	13	3
> 8	69	9	3	16	3

Fonte: IPT, 1981 apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 4

Em outra pesquisa realizada pelo IPT sobre umidade nas edificações no conjunto habitacional do Bororé em São Paulo, no ano de 1976, foram constatados em média três problemas de umidade por casa visitada (PEREZ, 1985, p. 571). No mesmo estudo, conforme Costella e Geyer (1997, p. 374), constatou-se as seguintes distribuições de freqüências, dentro dos tipos de problemas de umidade, conforme tabela 3.

Tabela 3: frequência de problemas de umidade no Bororé

TIPO DE UMIDADE	SOBRADOS	CASAS TÉRREAS
Umidade de infiltração	69%	41%
Umidade de absorção e capilaridade	15%	41%
Umidade de condensação	10%	18%
Umidade acidental	6%	-

Fonte: COSTELLA e GEYER, 1997, p. 374

No Rio Grande do Sul, em levantamento elaborado por Dal Molin (1988, p. 126), baseado em 275 relatórios de levantamentos de manifestações patológicas atendidas pela Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - CIENTEC -, verificou-se a situação apresentada na figura 1.

Neste aspecto, a má utilização de componentes é um dos fatores que contribuem para a alta proporção de manifestações patológicas advindas da umidade. Na figura 2 a seguir, concedida pela CIENTEC, observam-se manifestações patológicas decorrentes da umidade, em edificação residencial executada em blocos de concreto sem revestimento.

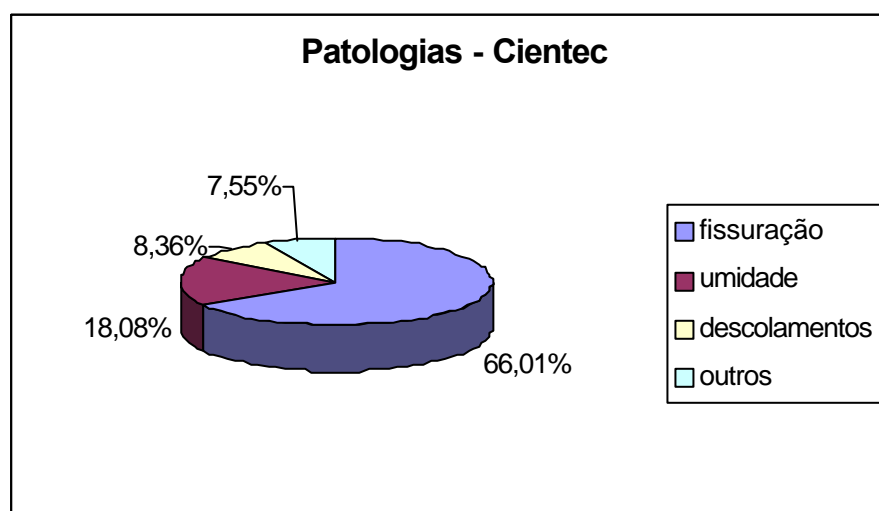


Figura 1: incidência de patologias segundo a CIENTEC (DAL MOLIN, 1988, p. 126)



Figura 2: manifestações patológicas proveniente de umidade em blocos de concreto sem revestimento (Cortesia: CIENTEC)

Tal preocupação não se restringe apenas ao Brasil. Em levantamento realizado na França pelo *Bureau Securitas*, com o objetivo de priorizar as exigências dos usuários de uma edificação, a estanqueidade foi um dos requisitos classificados como essenciais (KAZMIERCZAK, 1989, p. 1).

Conforme o mesmo autor, em levantamento de manifestações patológicas realizado pelo *Centre Scientifique et Technique de la Construction - CTSC*, constatou-se que 37% das falhas nas edificações eram provenientes de problemas relativos à umidade (figura 3).

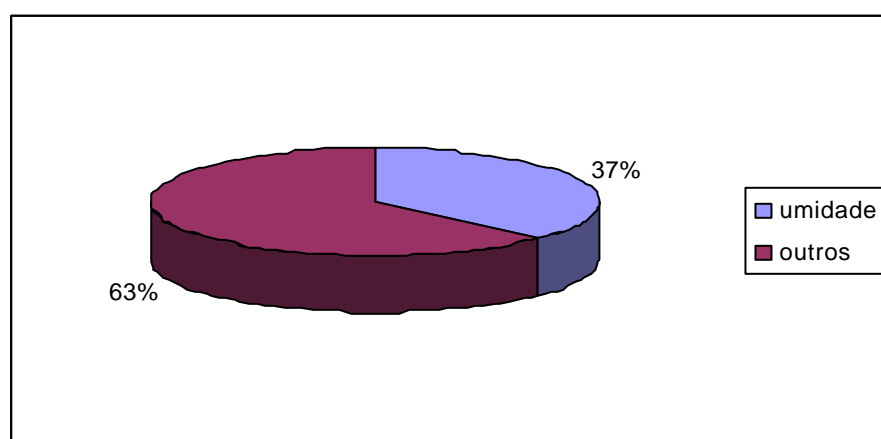


Figura 3: incidência de patologias (CTSC apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 3)

Segundo levantamento efetuado por Reygaerts et alli (1978 apud PICCHI, 1986, p. 161) a incidência de problemas relacionados com a umidade é significativa em outros países, conforme pode-se observar na tabela 4.

Tabela 4: natureza das falhas em edificações, em alguns países

Natureza da falha	Bélgica (%)	Grã-Bretanha (%)	Suíça (%)
Umidade	37	53	10
Descolamento	15	14	28
Fissuração	16	17	27
Instalação	10	-	17
Diversos	22	16	18

Fonte: REYGAERTS et alli, 1978 apud PICCHI, 1986, p. 161

De acordo com Perez (1985, p. 571), a umidade nas construções representa um dos problemas mais difíceis de serem solucionados dentro das ciências da construção civil. As dificuldades se devem à complexidade dos fenômenos envolvidos e a falta de estudos e pesquisas. Os problemas de umidade quando aparecem em uma construção geralmente acarretam grande desconforto e degradam a construção rapidamente. Mesma opinião possui Nappi (1996, p. 537) ao salientar que a umidade em paredes constitui um dos mais frequentes problemas existentes nas edificações, ocasionando condições de insalubridade e o conseqüente desconforto pessoal, além de contribuir para uma acelerada deterioração dos respectivos materiais.

As conseqüências advindas da umidade são várias e podem ser constatadas tanto no próprio componente como na superfície dos revestimentos. O efeito da alternância contínua de molhagem e secagem tem como resultado a diminuição da durabilidade dos materiais, causada por mecanismos como alteração dimensional dos elementos, apodrecimento biológico, corrosão, lixiviação, eflorescência entre outros. Além da degradação do componente alvenaria, também pode ocorrer a diminuição da resistência térmica devido à acumulação de água nos materiais da fachada, fazendo com que a alvenaria torne-se mais permeável ao calor. Outro problema advindo da passagem de água é o aumento da umidade geral da edificação, proporcionando a formação de bolores e expondo o usuário, em tais condições ambientais, a uma série de doenças, além do efeito psicológico acarretado por esta situação (KAZMIERCZAK, 1989, p. 2).

Aliado a estes problemas, há o agravante das terapias serem, em geral, caras e dispendiosas. Os problemas têm se acentuado nas últimas décadas, como consequência de mudanças ocorridas nos materiais e processos construtivos e da maior agressividade imposta pelo meio (RITCHIE, 1960 apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 2) Mesma opinião possui Perez (1985, p. 571), referindo-se que um dos fatores que mais contribuíram para o aparecimento freqüente de problemas de umidade foram as características construtivas adotadas pela arquitetura moderna, relacionadas com o uso de novos materiais e sistemas construtivos introduzidos nas últimas décadas.

1.1 OBJETIVOS

Como objetivo geral deste trabalho, pretende-se realizar um estudo comparativo acerca da permeabilidade em alvenarias executadas com blocos cerâmicos e blocos de concreto.

Como objetivos específicos, procura-se:

- a) verificar o grau de estanqueidade em painéis de alvenaria constituídos de blocos cerâmicos e blocos de concreto;
- b) avaliar a influência do revestimento com relação à permeabilidade da alvenaria;
- c) realizar uma análise crítica dos métodos de ensaios utilizados para avaliação da estanqueidade nos painéis de alvenaria analisados.

Para atender aos objetivos propostos, o trabalho foi organizado em oito capítulos. Como pode ser observado, o presente capítulo, além de expor as justificativas para a realização deste trabalho, faz menção aos objetivos, estruturação do trabalho e limitações da pesquisa do estudo.

O Capítulo 2 trata da umidade nas edificações. Este capítulo subdivide-se em três segmentos, onde, primeiramente, busca-se expor alguma conceituação teórica acerca da física do transporte de umidade nos materiais. Em seguida, comenta-se sobre os mecanismos de transporte de umidade nas alvenarias, em particular e, por fim, se apresentam as formas de manifestação de umidade presentes nas edificações.

O comportamento das alvenarias, comentários a respeito dos materiais constituintes - unidades de alvenaria e argamassas -, bem como, considerações referentes a interação bloco-argamassa são expostos no Capítulo 3 do presente trabalho.

Já no Capítulo 4, são apresentados os métodos de avaliação de estanqueidade à água de paredes utilizados na pesquisa experimental, discorrendo acerca dos seus objetivos e aplicações, aparelhagem utilizada e procedimentos para realização dos ensaios.

O Capítulo 5 discorre acerca da tipologia das paredes ensaiadas, bem como, apresenta os resultados dos ensaios de caracterização das unidades de alvenaria utilizados para a elaboração dos corpos-de-prova.

No Capítulo 6, são apresentados os resultados dos ensaios de estanqueidade à água, efetuados nos painéis de alvenaria.

Já o Capítulo 7 trata da análise dos resultados provenientes dos ensaios realizados, assim como, dos métodos de avaliação da estanqueidade à água utilizados.

Por fim, o Capítulo 8 apresenta as conclusões e comentários relativos aos resultados dos ensaios de estanqueidade à água efetuados, bem como, recomendações para trabalhos futuros de pesquisa.

Tendo em visto haver diferentes tipos de unidades (concreto, cerâmica, silico-calcáreo, dentre outros) que podem ser empregados para a execução de alvenarias, um estudo englobando todos estes casos seria muito extenso e, portanto, não será apresentado. O trabalho limitou-se apenas as alvenarias que utilizam, em sua execução, blocos de concreto e blocos cerâmicos, por serem estas as unidades de alvenaria estrutural de utilização corrente em nosso país.

Além disto, em função de existirem diversos traços de argamassa utilizados para assentamento e revestimento de alvenarias, não seria possível a verificação da influência de cada um deles quanto a permeabilidade das paredes. Desta forma, optou-se por definir um único traço de argamassa de assentamento e revestimento, que foi utilizado em todos os painéis de alvenaria ensaiados.

2 UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES

2.1 FÍSICA DO TRANSPORTE DE UMIDADE NOS MATERIAIS

2.1.1 Considerações iniciais

De acordo com Torres (1998, p. 9), a água ocupa aproximadamente 70% da superfície do nosso planeta, apresentando-se na natureza nos seguintes estados físicos: sólido, líquido e gasoso. Sob certas condições de pressão e temperatura, a água pode mudar de estado físico, acarretando uma variação dimensional e de pressão, que lhe proporciona uma grande penetração. Além disto a água tem grande poder de dissolução, sua molécula é neutra e sua estrutura física lhe proporciona uma tensão superficial baixa.

Segundo o mesmo autor, devido a este conjunto de propriedades, a água adquire características importantes na ação da umidade nos materiais de construção, entre os quais podemos destacar o grande poder de penetração e de dissolução, grande mobilidade devido a baixa tensão superficial e capacidade para transportar sólidos, líquidos e gases.

Para que a umidade possa penetrar nos materiais, é necessário que existam poros acessíveis às moléculas de água, assim como, fissuras em sua superfície.

Gratwick (1971, p. 39), define poro como sendo um espaço tubular fino, situado entre duas partes sólidas de um material, no qual a água pode penetrar. Os poros não devem ser confundidos com espaços intermoleculares, ou seja, aqueles que não podem ser ocupados por nenhuma matéria que represente um outro corpo independente.

As fissuras são consideradas como sendo aberturas entre duas superfícies, possuindo largura compreendida entre 0,1 e $1,0 \times 10^{-3}$ m. O quadro 1 apresenta uma síntese das dimensões

adotadas para os poros, fissuras e rachaduras (DIAMANT, 1967 apud POLISSENI, 1986, p. 9).

DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES
Poros	$0,28 \times 10^{-9} \text{ m} \leq \varnothing \leq 0,013 \times 10^{-3} \text{ m}$
Fissuras	$0,013 \times 10^{-3} \text{ m} \leq \varnothing \leq 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}$
Rachaduras	$\varnothing > 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}$

Quadro 1: dimensões dos poros, fissuras e rachaduras nos materiais (DIAMANT, 1967 apud POLISSENI, 1986, p. 9)

Mamillam (1966 apud POLISSENI, 1986, p. 10), apresenta seis categorias de poros que se pode encontrar nos materiais de construção: poros circuitos; poros sem saída; poros fechados; microporos; poros canais e os poros na forma de bolsa.

A figura 4 mostra cada uma das categorias dos poros relacionados.

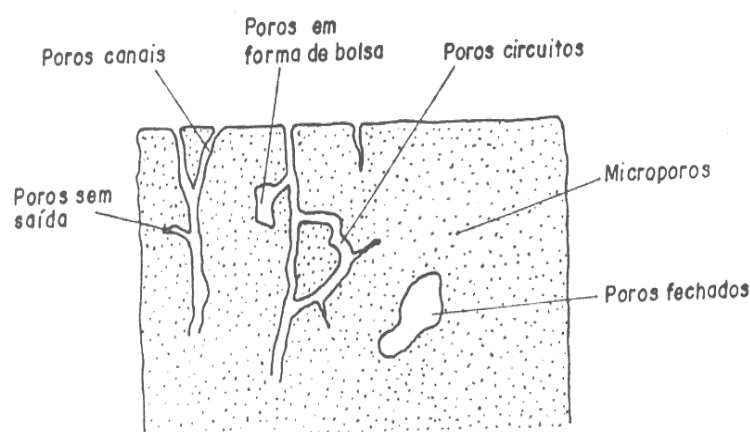


Figura 4: diferentes categorias de poros (MAMILLAM, 1966 apud POLISSENI, 1986, p. 10)

2.1.2 Teor de umidade

Quando os poros dos materiais estão preenchidos com água, gelo ou vapor d'água, se diz que o material apresenta um determinado teor de umidade. O teor de umidade máximo que um material pode conter é denominado de saturação (W_m). Quando o material atinge a saturação,

os seus poros estão completamente cheios de água. Os materiais porosos podem conter um teor de umidade compreendido entre 0 kg/m^3 até $W_m \text{ kg/m}^3$ (CSTC, 1982, p. 7). A figura 5 esquematiza os teores de umidade (W) de um material.

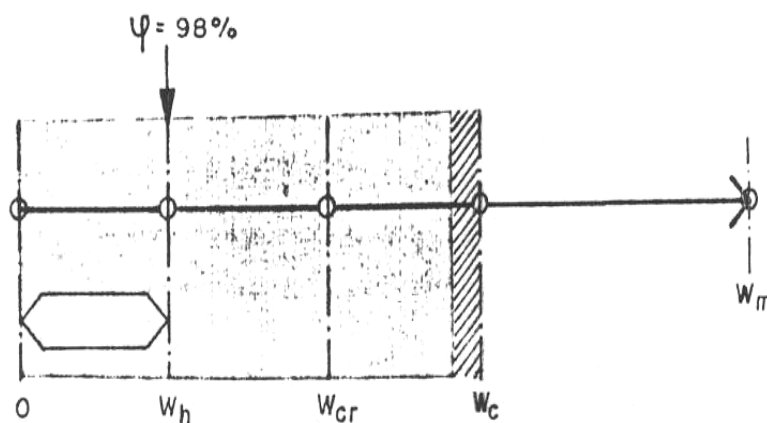


Figura 5: representação esquemática dos teores de umidade de um material (CSTC, 1982, p. 7)

Se fazem notar os seguintes teores de umidade:

- a) $0 \leq W \leq W_h$: é a chamada higroscópica. Conforme a umidade relativa do ar ambiente, o material terá um teor de umidade compreendido entre estes dois valores. A umidade higroscópica (W_h) é definida para uma umidade relativa igual a 98%. Caso o material tenha um teor de umidade próximo a zero, diz-se que o material não é higroscópico;
- b) W_{cr} : teor crítico de umidade. É o teor de umidade que caracteriza o transporte de água por capilaridade. Para um teor de umidade W , situado abaixo de W_{cr} , não existe transporte de água por capilaridade;
- c) W_c : teor de umidade capilar. É o máximo teor de umidade que se pode encontrar em um material em contato com um plano de água. $W > W_c$: É um teor de umidade pouco provável de se encontrar na prática, devido a presença de ar dentro dos poros do material que não estão preenchidos com água;
- d) W_m : teor máximo de umidade ou saturação. É o teor de umidade que só ocorrerá caso os poros do material sejam artificialmente preenchidos com água sob pressão. Na prática, o teor de umidade máximo ou saturação não ocorre jamais, pois é praticamente impossível preencher todos os poros do material com água sob pressão.

2.1.3 Mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais

Quando alguma parte de um material contém um teor de umidade, esta apresenta a tendência de distribuir-se por toda sua massa.

Os mecanismos que regem o transporte de umidade em uma parede são bastante complexos e podem dar-se em diferentes fases. Na fase de vapor, o transporte é condicionado pela difusão e pelos movimentos convectivos, enquanto que, na fase líquida, a transferência de umidade é comandada pela capilaridade, gravidade e por forças externas (TORRES, 1998, p. 10).

2.1.3.1 Transporte do vapor d'água por difusão

A difusão do vapor d'água origina-se da diferença de concentração entre dois componentes da mistura gasosa: ar seco e vapor d'água.

A difusão do vapor d'água é um exemplo específico do princípio físico, segundo o qual, em uma mistura de gases que apresentam diferentes concentrações, se produzirá um transporte de moléculas que permanecerá até inexistirem diferenças de concentrações, conforme depreende-se da figura 6 (CSTC, 1982, p. 8).

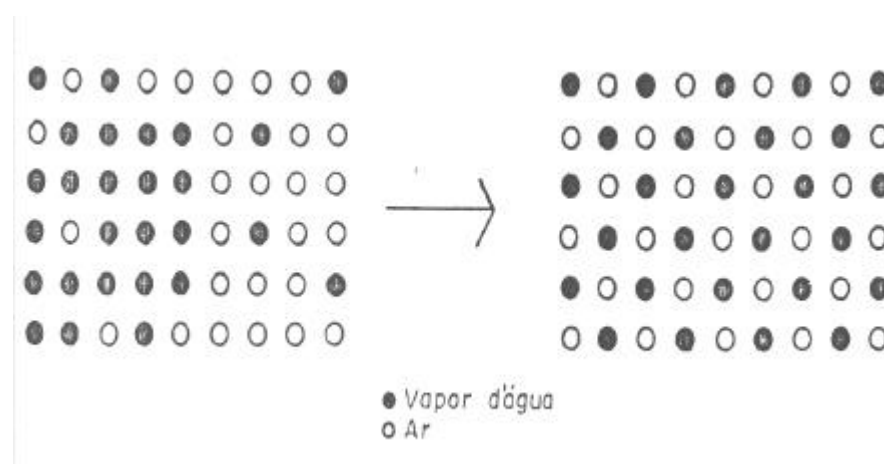


Figura 6: representação esquemática da difusão do vapor d'água (CSTC, 1982, p. 8)

Segundo Turik (1985, p. 75), os materiais de construção, em geral, por menos permeáveis que sejam, quando sujeitos a uma diferença de pressão de vapor, deixam passar o vapor d'água. A

tendência de passagem do vapor d'água através dos elementos da construção é do ambiente mais quente para o mais frio, tendo em vista que a pressão de vapor d'água do ar quente, de modo geral, é superior a do ar frio.

Polisseni (1986, p. 13), relata que o coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) indica o grau de dificuldade que o vapor d'água encontra para difundir-se no material comparado com a dificuldade que ele teria para atravessar uma camada de ar estacionária de mesma espessura, com temperatura e pressão totalmente idênticas.

O quadro 2 fornece os valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de alguns materiais de construção.

Em um enfoque mais tradicional, pode-se definir, ainda, a permeabilidade (P) e a permeância ao vapor d'água de um material de construção. De acordo com Turik (1985, p. 75), a permeabilidade (P) de um material, é a quantidade de umidade em quilogramas por hora e por metro quadrado de superfície de passagem, que atravessa um elemento de 1 metro de espessura por Pascal de diferença de pressão de vapor.

Material		Peso específico (kg/m ³)	Fator (μ)	
Materiais de construção	Tijolos (lajotas)	1.360	6,8	
		1.530-1.860	9,3 - 10	
	Telhas	1.880	37 - 43	
	Concreto	2.100	23	
		2.300	30	
	Telhas de fibro-cimento	1.920	51	
	Materiais isolantes	Espuma de poliuretano (sem pele)	50	5,3
		Espuma de poliestireno	20	40 - 100
		Fibra de madeira prensada	460	6,8
		Cortiça expandida	100 - 140	5,0 - 30
Lã de vidro		100 - 300	1,17 - 1,27	
Barreira de vapor		Emulsão betuminosa com aplicação de asfalto quente		54.900 - 138.300
		Feltro asfáltico		3.640 - 18.280
	Papelão betuminado		11.620	
	Filme plástico 25g/m ² (0,025 mm)		32.600 - 65.000	
	Lâmina de alumínio 40 g/m ²		infinito	
	Pinturas de borracha clorada 0,1 mm		24.000 - 77.000	
	Pintura com tinta óleo 0,1 mm		9.800 - 24.000	
	Mastique asfáltico - base solvente		98.000	
	Mastique asfáltico - base emulsão		4.434	

Quadro 2: valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de materiais de construção, em estado seco (POLISSENI, 1986, p. 14)

A relação entre permeabilidade (P) do material e a sua espessura é denominada de permeância. No quadro 3, encontramos os valores de permeabilidade e permeância de alguns materiais de construção.

MATERIAL	PERMEÂNCIA (kg/m ² .h.Pa)	PERMEABILIDADE (kg.m/m ² .h.Pa)
Ar	-	6,248x10 ⁻⁷
Blocos ocios de concreto	-	1,500x10 ⁻⁷
Cimento	-	4,125x10 ⁻⁹
Concreto 1:2:4	-	1,725x10 ⁻⁸
Cortiça	-	1,275x10 ⁻⁸
Estuque	-	5,250x10 ⁻⁸
Feltro asfáltico (1,8 a 3 kg/m ²)	2,85x10 ⁻¹⁰	-
Fibra de madeira	-	2,250x10 ⁻⁸ a 2,10x10 ⁻⁷
Fibrocimento	-	9,001x10 ⁻⁸
Lã de vidro	-	6,000x10 ⁻⁸
Lambri de pinho	-	6,000x10 ⁻⁹
Lã mineral	-	6,076x10 ⁻⁷
Madeira compensada	-	1,500x10 ⁻⁹
Papel de revestimento impregnado de asfalto	5,025x10 ⁻⁸	-
Parede de tijolos maciços	-	2,25x10 ⁻⁹ a 4,25x10 ⁻⁹
Paredes de tijolos ocios	-	1,125x10 ⁻⁸
Papel impermeável	4,125x10 ⁻⁸	-
Pintura à óleo, 3 demãos	1,875x10 ⁻¹⁰	-
Pintura asfáltica, 2 demãos	9,001x10 ⁻¹¹	-
Reboco de gesso	-	9,751x10 ⁻⁸
Reboco comum	-	4,875x10 ⁻⁸
Poliestireno expandido (15 kg/m ³)	-	9,376x10 ⁻⁹
Poliestireno expandido (30 kg/m ³)	-	5,626x10 ⁻⁹
Poliestireno expandido (50 kg/m ³)	-	4,650x10 ⁻⁹

Quadro 3: valores de permeabilidade e permeância ao vapor d'água de alguns materiais de construção (TURIK, 1985, p. 76)

2.1.3.2 Transporte do vapor d'água por convecção

Costa (1982, p. 66) define convecção como a passagem de moléculas de vapor d'água de um local para outro de um fluido por efeito do movimento relativo de suas partículas. Esse movimento pode ser provocado pela diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura e conseqüente diferença de densidade da massa fluida considerada.

Este fenômeno ocorre particularmente nas paredes ocas, ou seja, paredes com vão central. Caso a espessura da camada de ar entre as paredes seja suficientemente grande (maior que 4 centímetros) e as superfícies internas das paredes que confinam a camada de ar estiverem com temperaturas diferentes, surgirão correntes de convecção que passarão o vapor d'água da superfície mais quente para a mais fria (POLISSENI, 1986, p. 17).

2.1.3.3 Transporte de água por capilaridade

Um mecanismo essencial para que se compreenda o fenômeno da infiltração é o da capilaridade, o qual se esclarece a partir do comportamento intermolecular da água e sua conformação superficial.

De acordo com o *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (1982, p. 9), o transporte de água por capilaridade é conseqüência da força de sucção capilar, que é exercida nos poros de um material hidrófilo. Esta força é uma ação combinada da tensão superficial da água e da adesão das moléculas de água na superfície interna do poro.

Um material é considerado hidrófilo, segundo Bauer (1987, p. 25), quando a adesão água-superfície de material é forte – o material é facilmente molhado pela água. Se a adesão água-superfície do material for fraca, a água não entra em contato facilmente com o material, sendo o material denominado hidrófugo. A força de adesão água-superfície do material também é denominada de força de absorção.

Para se compreender melhor o fenômeno da capilaridade serão apresentadas a seguir algumas considerações sobre a tensão superficial, a formação do menisco d'água entre duas superfícies

e as forças de sucção ou expulsão capilar que atuam em um poro ou em uma fissura na parede.

2.1.3.3.1 Tensão superficial

Conforme Bauer (1987, p. 26), a tensão superficial (σ) é um fenômeno físico, segundo o qual a superfície da água sob efeito de um desequilíbrio entre as interações moleculares, age como se fosse uma membrana tracionada.

As forças exercidas entre as moléculas só adquirem valores consideráveis quando a distância entre elas é da ordem de 10^{-8} metros. Para distâncias maiores as forças intermoleculares são praticamente nulas. Se fizermos um centro em uma molécula e descrevermos uma esfera de raio igual a 10^{-8} metros, podemos desprezar os efeitos atrativos exercidos sobre a molécula considerada, pelas moléculas situadas fora desta esfera (POLISSENI, 1986, p. 18). Ainda, segundo Kazmierczak (1989, p. 26), a força das ligações intermoleculares depende da densidade dos corpos. A ligação é mais intensa em sólidos e líquidos do que em gases. Nos líquidos, verifica-se que sempre que a força da gravidade supera as forças intermoleculares as superfícies se mantêm em um mesmo nível, a distância constante do centro da Terra.

Pode-se então imaginar, consoante os autores acima citados, uma molécula assumindo duas situações distintas conforme mostra a figura 7.

No caso da **molécula 1** tem-se atrações iguais em todas as direções e sentidos, sendo a atração resultante nula. Quanto à **molécula 2**, a atração exercida pelo conjunto de moléculas contidas na superfície livre do líquido não estão equilibradas. As forças superficiais que não estão equilibradas, servem para reforçar as ligações laterais entre as moléculas, originando a tensão superficial, como mostra a figura 8.

Pelo exposto, pode-se concluir que as tensões superficiais atuam sobre uma pequena profundidade, que corresponde à espessura de algumas moléculas em uma zona na qual as forças da superfície não estão equilibradas completamente.

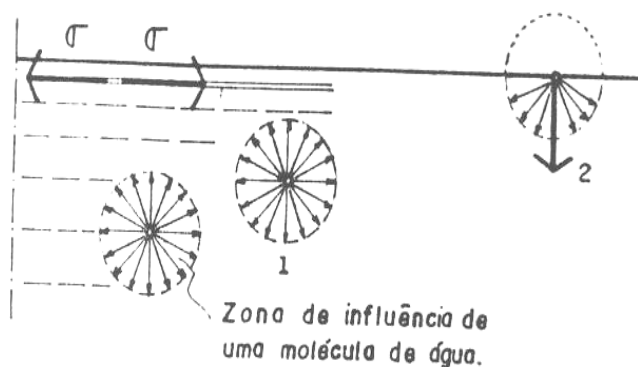


Figura 7: tensão superficial (CSTC, 1982, p. 9)

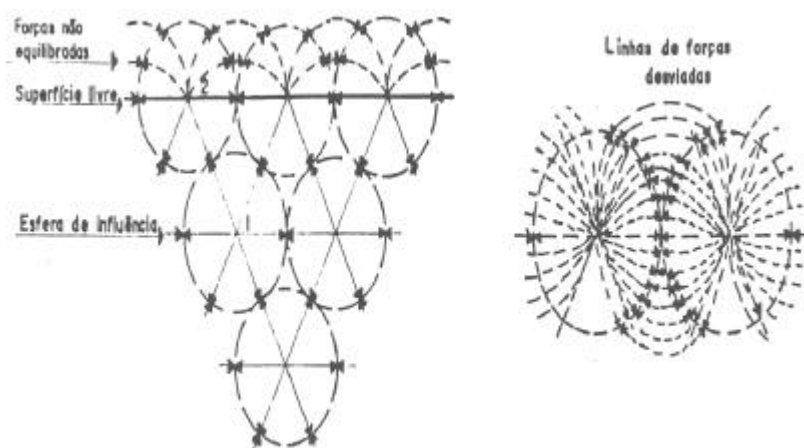


Figura 8: tensões intermoleculares (GRATWICH, 1971, p. 23)

O *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (1982, p. 9) relata, ainda, que o valor médio da tensão superficial (σ) para a água é de aproximadamente 75×10^{-3} N/m, sendo que a temperatura exerce influência sobre a tensão superficial, de modo que quando a temperatura aumenta, a tensão superficial diminui, conforme demonstra a figura 9.

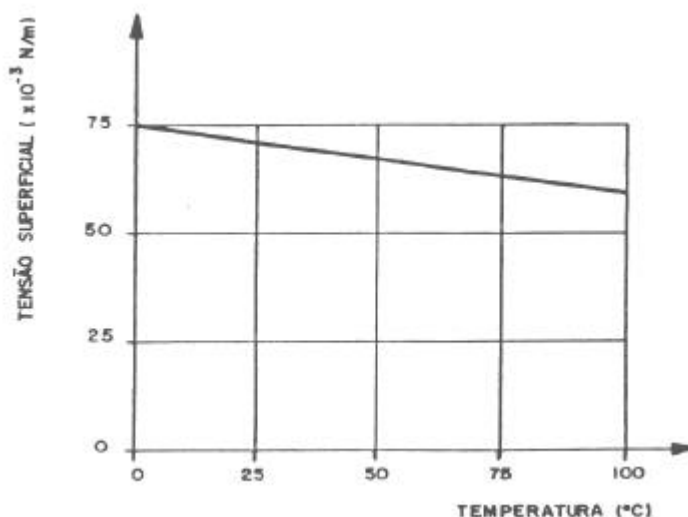


Figura 9: variação da tensão superficial da água com a variação da temperatura (CSTC, 1982, p. 9)

2.1.3.3.2 Formação do menisco

A formação do menisco se dá quando colocamos um líquido em contato com um sólido. As moléculas da camada superficial, colocadas próximas ao sólido, ficam submetidas à ação de duas forças atrativas: a coesão (orientada para o interior da massa líquida) e a adesão (exercida pelas moléculas do sólido).

A figura 10 ilustra as forças que agem sobre uma **molécula M**. A **força A** representa a adesão e a **força C** representa a coesão. Portanto, a **molécula M** está submetida a uma **força resultante F**. Como a força resultante deve ser perpendicular à superfície livre, para que haja equilíbrio, esta superfície deve ser côncava, traduzindo, deste modo, a situação onde o líquido molha o sólido. Considerações análogas às anteriores, levam a concluir que quando o líquido não molha o sólido, a superfície deve ser convexa (POLISSENI, 1986, p. 20).

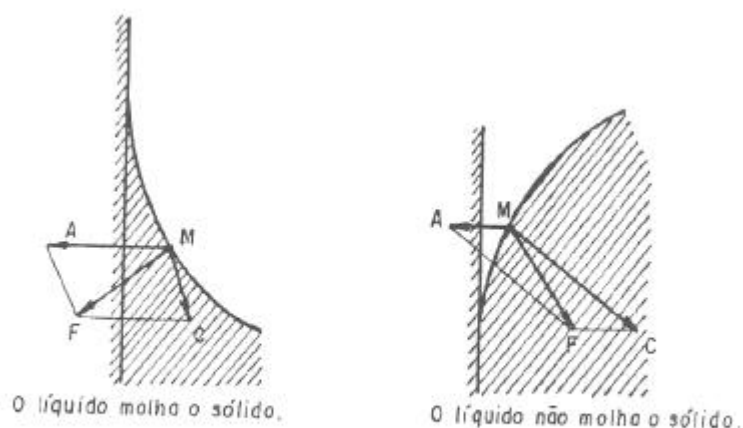


Figura 10: forças que agem sobre uma molécula de um líquido em contato com um sólido

(GONÇALVES, 1970 apud POLISSENI, 1986, p. 20)

Supondo-se que um líquido molhe um sólido, se depositarmos sobre a superfície horizontal do sólido uma grande gota do líquido, esta se estenderá em todas as direções até que a atração horizontal das moléculas do sólido sobre o líquido e a ação da gravidade sejam equilibradas pela tensão superficial do líquido.

Se, antes deste estado de equilíbrio o líquido encontrar uma superfície vertical, as moléculas continuarão avançando, de modo que a superfície vertical se apresentará como uma extensão da superfície horizontal. Isto configura uma situação segundo a qual o líquido deve vencer a força da gravidade para poder se elevar sobre a superfície vertical.

Para conservar as forças das tensões superficiais, o líquido tende a ocupar uma superfície mínima, tomando uma curvatura esférica. Essa é, neste caso, a única maneira de reduzir a tensão superficial e, assim, pode-se explicar o motivo pelo qual o líquido continua subindo sobre a superfície vertical. A esta curvatura dos líquidos, denomina-se menisco (GRATWICK, 1971, p. 29).

A figura 11 esquematiza a formação de um menisco quando a água entra em contato com a superfície de um sólido.

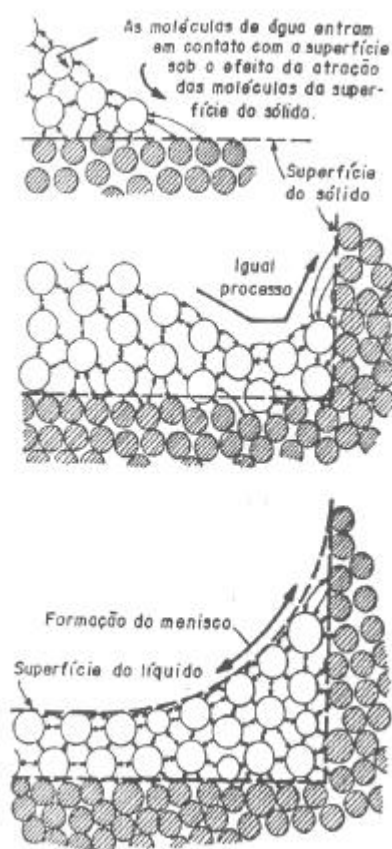


Figura 11: formação do menisco quando a água entra em contato com a superfície de um sólido (GRATWICH, 1971, p. 30)

Quando se tem água aprisionada entre duas superfícies verticais muito próximas uma da outra, de tal forma que a superfície do líquido não possa realizar a redução requerida (ocupar uma superfície mínima tornando-se uma curvatura esférica), o deslocamento do líquido ocorrerá até que seja possível a redução.

A única força capaz de opor-se às forças da superfície do sólido e às forças da superfície do líquido é a gravidade. Quando a altura do líquido tende a aumentar, a gravidade opõe-se a esta ascensão capilar, evitando, desta forma, que a água continue a subir pela superfície do sólido.

Para a água aprisionada entre duas superfícies verticais distantes da outra, quando as forças se equilibram com a gravidade, os meniscos se limitam a uma pequena ascensão, curvada nas proximidades imediatas das superfícies verticais (POLISSENI, 1986, p. 21).

A figura 12 mostra a ordem de grandeza das distâncias entre as superfícies verticais onde ocorre a ascensão capilar, bem como, a altura alcançada pela água.

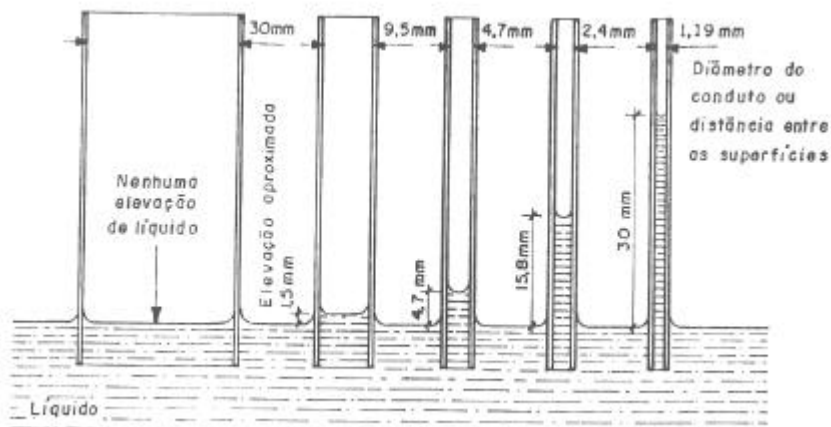


Figura 12: altura da ascensão capilar da água entre duas superfícies (DIAMANT, 1967 apud POLISSENI, 1986, p. 22)

2.1.3.3 Forças de aspiração ou expulsão capilar

Segundo o *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (1982, p. 10), as forças de aspiração ou expulsão capilar atuam quando a água está em contato com os poros e as fissuras dos materiais. Para um poro de seção circular teremos, conforme a equação 1.

$$p_c = \pm \frac{4\sigma \cos \alpha}{d'} \quad (\text{equação 1})$$

onde:

σ = tensão superficial (N/m);

d' = diâmetro do poro (m);

α = ângulo de contato do menisco d'água com a superfície;

p_c = com o sinal (+) representa a força de expulsão capilar (Pa) – material hidrófugo.

p_c = com o sinal (-) representa a força de aspiração capilar (Pa) – material hidrófilo.

Para uma fissura entre duas superfícies teremos, segundo a equação 2.

$$p_c = \pm \frac{2\sigma \cos \alpha}{d'} \quad (\text{equação 2})$$

onde:

σ = tensão superficial (N/m);

d' = diâmetro do poro (m);

α = ângulo de contato do menisco d'água com a superfície;

p_c = com o sinal (+) representa a força de expulsão capilar (Pa) – material hidrófugo.

p_c = com o sinal (-) representa a força de aspiração capilar (Pa) – material hidrófilo.

Como se vê, o efeito da capilaridade nos materiais aumenta à medida que a largura do poro ou diâmetro da fissura diminui. A título de comparação de ordens de grandeza, Bauer (1987, p. 28) exemplifica através dos valores constantes no quadro 4.

Abertura	Pressão (N/m ²)
Poros: $d = 10^{-6}$ m	282.000
Fissura: 10^{-4} m	1.400
Fissura: 10^{-3} m	141
Pressão vento *: 10 m/s	63
Pressão vento *: 25 m/s	391

* NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988)

$\theta = 20^\circ$ (argamassa)

Quadro 4: ordem de grandeza de forças de penetração de água
(BAUER, 1987, p. 29)

A figura 13 mostra a determinação do ângulo de contato entre as paredes de um poro.

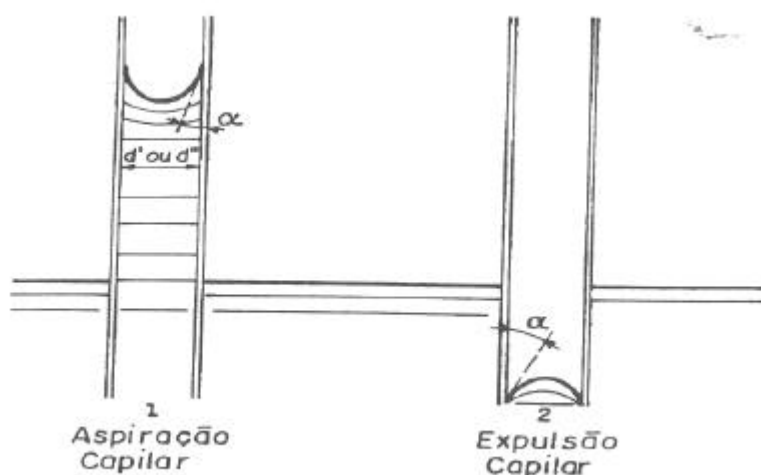


Figura 13: ângulo de contato entre o menisco d'água e a superfície (CSTC, 1982, p. 10)

Por fim, Kazmierczak (1989, p. 31) comenta que outro fator que influi na força de ascensão capilar é a umidade relativa do componente, uma vez que após a saturação dos poros, a força capilar deixa de existir, de acordo com o observado na figura 14.

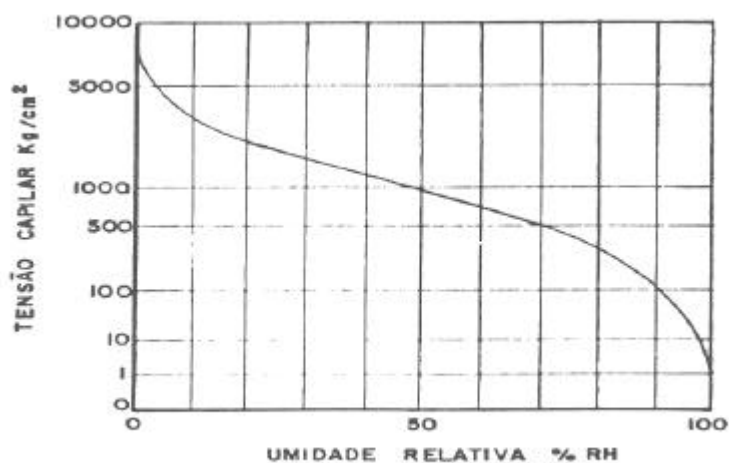


Figura 14: força de ascensão capilar x umidade relativa (BABA, 1978 apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 31)

2.1.3.4 Transporte de água por forças de gravidade e externas

De acordo com Bauer (1987, p. 29), a força da gravidade agindo na água sobre a superfície da fachada ou nas aberturas de maior dimensão, irá propiciar a penetração de água desde que o fluxo de água encontre uma abertura em posição descendente. O fluxo de água também pode ser dirigido para o interior das aberturas através de irregularidades na superfície.

Sobre a influência do vento, as gotas de chuva podem se aproximar da parede com considerável velocidade, sendo que, devido a sua energia cinética, é possível que penetrem em aberturas superiores a 5 mm. Caso a abertura seja pequena, a gota irá se subdividir em gotículas devido ao impacto, sendo que essas pequenas gotas podem penetrar pela abertura. No entanto, caso não exista abertura suficiente, a água não pode penetrar por esse meio exclusivamente.

Ainda conforme este autor, as forças do vento atuam no sentido de empurrar a água que está sobre a superfície para o interior da parede através de poros e fissuras. Basicamente a pressão externa devida ao vento é superior a pressão interna, favorecendo a penetração da água.

2.2 MECANISMOS DE TRANSPORTE DA UMIDADE NAS ALVENARIAS

Bauer (1987, p. 19), relata que a penetração da água da chuva em alvenarias está relacionada com diversos fenômenos físicos, os quais determinam a incidência de chuvas sobre as paredes, com fenômenos que regem o comportamento dos materiais porosos quando solicitados pela chuva e com aspectos construtivos pertinentes à concepção e construção das paredes, tais como, detalhes de projeto, defeitos, componentes, tratamento superficial, entre outros.

Existem várias classificações propostas que procuram explicitar e sistematizar os elementos responsáveis pela penetração da água da chuva. Na verdade, existe um grande número de elementos os quais, agindo isoladamente ou em conjunto, apresentam uma ordem de classificação quanto à importância diferenciada para cada componente construtivo. Isso quer dizer que o modo pelo qual a água penetra é diferente para cada caso. Exemplificando: os

elementos determinantes da penetração da chuva em uma junta de um painel pré-moldado são diferenciados dos elementos responsáveis pela penetração da água da chuva em um painel de alvenaria de tijolos.

Segundo Garden (1963 apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 22) e Davidson (1979 apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 22), para que a água proveniente da chuva penetre no corpo da alvenaria, é necessária a ocorrência simultânea de três condições:

- a) existência de um filme de água;
- b) aberturas que permitam a sua passagem;
- c) forças que direcionem sua penetração.

Segundo Bauer (1987, p. 20), a primeira condição, de existência de água sobre a superfície da parede, é suprida quando da ocorrência da precipitação. Kazmierczak (1989, p. 23) complementa dizendo que as gotas de chuva sofrem a ação da força da gravidade e são defletadas pelo vento podendo, desta forma, atingir a superfície vertical da alvenaria.

Bauer (1987, p. 20), salienta que a incidência de chuva sobre a parede é maior ou menor em função das condições de exposição da parede com relação à chuva, ao vento e a sua orientação. Dependendo da absorção e da capacidade de *armazenagem* de umidade dos materiais de superfície e, também, da taxa de precipitação de chuvas, um substancial filme de água pode ser formado e escoar pela face da parede. O escoamento deste filme é influenciado pela textura da superfície, gravidade e movimentação do ar ao longo da face da parede.

A segunda condição, de existência de aberturas para penetração da água, é satisfeita devido a existência na face da parede de poros, fissuras, rachaduras, interfaces e juntas defeituosas entre materiais ou elementos. Ressalta-se que certas aberturas são características dos materiais, como no caso dos poros (os materiais de construção, em sua maioria, são porosos), enquanto que outras aberturas são oriundas de defeitos que muitas vezes são difíceis de se evitar, como no caso das fissuras. Ainda, existem aberturas de ordem construtiva, como no caso das juntas de dilatação, as quais podem ser suscetíveis à penetração da água caso apresentem problemas de vedação.

Segundo o mesmo autor, ainda que existindo água sobre a superfície da parede e aberturas, não ocorrerá penetração da água a menos que uma força, ou combinação de forças, seja capaz de induzir a água a penetrar através das aberturas - terceira condição. A perturbação causada por uma força em uma abertura de pequena dimensão (poro) cheio de água é demonstrado na figura 15.

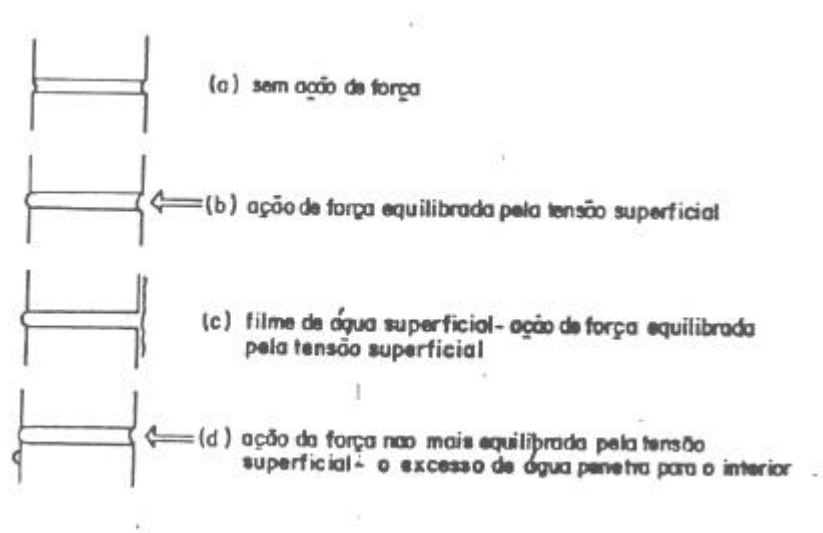


Figura 15: ação de uma força em um capilar cheio de água
(BAUER, 1987, p. 22)

Consoante Kazmierczak (1989, p. 23), as forças que contribuem para a penetração da água das chuvas podem ser divididas em forças de absorção capilar, forças da gravidade e forças externas, que por sua vez, subdividem-se em energia cinética das gotas de chuva e pressão do vento.

Bauer (1987, p. 23) complementa que todas essas forças podem atuar combinadas ou em separado, produzindo a penetração da água da chuva. A faixa em que cada força é mais significativa é delimitada através das dimensões das aberturas, diferenciando-se, portanto, os mecanismos de penetração da chuva.

Garden (1963 apud BAUER, 1987, p. 23) representou esquematicamente, por intermédio da figura 16, os fatores que influenciam a penetração da água da chuva pelas fachadas e associou a eles faixas dimensionais para as quais se tornam relevantes.

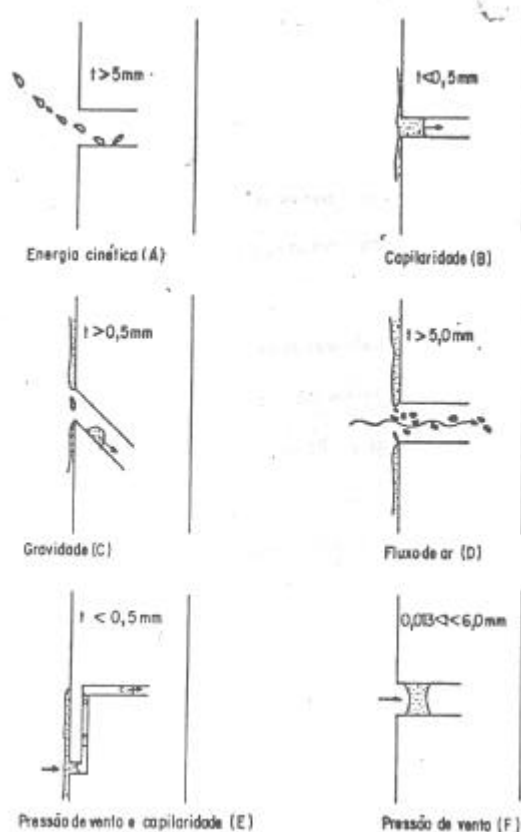


Figura 16: forças produzindo penetração da chuva
(GARDEN, 1963 apud BAUER, 1987, p. 24)

Conforme Kazmierczak (1989, p. 24), quando uma gota de chuva bate na superfície da alvenaria e se divide, as gotículas resultantes podem penetrar em aberturas com diâmetro superior a 5 mm, devido à energia cinética da gota. Tal penetração depende da profundidade das aberturas e tende a ser maior quando a velocidade do vento é mais elevada. A gravidade atua em aberturas com as mesmas dimensões.

Em aberturas com diâmetro menor que 0,5 mm, ocorre a ação da sucção capilar. Se houver interligação entre os vasos capilares, poderá haver percolação de água por todo o corpo da alvenaria.

A diferença de pressão entre a superfície externa e interna da alvenaria atua sobre aberturas de pequena diâmetro, entre 0,01 e 5 mm. A chuva forma um filme de água sobre a parede e o vento força a penetração da água pelas aberturas. A espessura do filme depende da intensidade da chuva incidente e da altura da edificação.

Pode haver a ação simultânea da pressão do vento e da capilaridade, uma vez que as aberturas que transportam água nos dois casos são as mesmas para a faixa dos 0,01 a 0,5 mm.

Também pode haver penetração de água pela ação de correntes de ar atuando em aberturas com diâmetro superior a 5 mm, em paredes molhadas superficialmente.

2.3 FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA UMIDADE

Os problemas de umidade nas edificações não estão associados a uma única causa; em geral, há um conjunto de causas, sendo uma delas mais significativa.

De acordo com Ulsamer (1986), Verçosa (1983, p. 19), Alucci et alli (1988, p. 566), as causas das manifestações patológicas decorrentes da umidade nas edificações estão relacionadas com umidade:

- a) ascensional do solo ou do terreno;
- b) de precipitação;
- c) de condensação;
- d) devido a fenômenos de higroscopicidade dos materiais;
- e) de construção;
- f) acidental.

2.3.1 Umidade ascensional do solo ou do terreno

As águas do solo podem, muitas vezes, provocar problemas específicos de umidade nas paredes de subsolo e pavimentos térreos. A grande maioria dos materiais de construção existentes atualmente possuem elevada capilaridade, fazendo com que a água possa migrar, na ausência de qualquer barreira que iniba este deslocamento (HENRIQUES, 1995, p. 3).

Segundo o mesmo autor, na ausência de qualquer espécie de barreiras estanques, esta migração pode ocorrer horizontalmente ou na vertical, o que se verifica quando se encontram reunidas as seguintes condições:

- a) existência de zonas das paredes em contato com a água ou solo úmido;
- b) existência de materiais com elevada capilaridade nas paredes;
- c) inexistência ou deficiente posicionamento de barreiras estanques nas paredes.

A ascensão da água nas paredes, que pode ocorrer até alturas significativas de acordo com Torres (1998, p. 20), é função da distribuição de poros dos seus materiais constituintes (quanto menor o diâmetro dos poros, maior a altura teórica que a água poderá atingir), da quantidade de água que está em contato com as paredes, das condições de evaporação da água que migrou para a parede, da espessura, época de construção e orientação solar.

De maneira geral, pode-se dizer que a ascensão de água em uma parede progredirá até o nível em que a quantidade de água evaporada seja igual a absorvida pelo solo por capilaridade. É por esta razão que sempre que se impermeabiliza a superfície lateral de uma parede está se diminuindo as suas condições de evaporação e, por conseqüência, aumentando-se teoricamente o nível de umidade na parede, até o ponto em que o equilíbrio esteja restabelecido, conforme verifica-se através da figura 17.

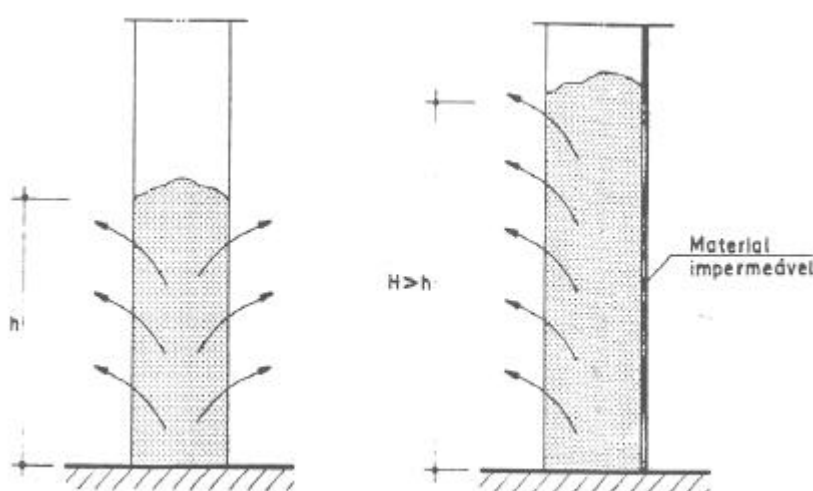


Figura 17: altura atingida pela água nas paredes, em função das condições de evaporação (HENRIQUES, 1995, p. 5)

Da mesma forma, considerando-se constantes as condições ambientais, pode-se afirmar que quanto maior for a espessura da parede, maior será a altura atingida pela umidade, uma vez que maior é a quantidade de água a ser evaporada (HENRIQUES, 1995, p. 5).

De acordo com Torres (1998, p. 22), outro fenômeno que vem prejudicar a evaporação e, logo, aumentar a altura de ascensão capilar nas paredes é a presença de sais no terreno ou nos próprios materiais de construção. O que irá acontecer, nestas situações, é que a água durante sua ascensão capilar, irá carrear consigo sais para níveis mais elevados. Ao atingir a superfície a água evapora e os sais cristalizam, com aumento de volume, e ficam aí depositados. Este fenômeno provoca uma progressiva colmatação dos poros e, conseqüentemente, uma maior dificuldade para a evaporação da água, acarretando, em uma maior ascensão capilar. Os sais depositados nas superfícies propiciam, por outro lado, a ocorrência de fenômenos de higroscopicidade, os quais perduram mesmo após terem sido resolvidos os problemas devido a ascensão da água nas paredes.

Conforme Henriques (1995, p. 9), as anomalias provenientes da presença de umidade ascensional podem ser detectadas, visualmente, pelo aparecimento de manchas de umidade nas zonas de parede junto ao solo apresentando, muitas vezes, zonas erodidas na parte superior destas manchas, acompanhadas, em certos casos, de manchas de bolor, criptoflorescências ou eflorescências ou vegetação parasitária, principalmente nos locais de pouca ventilação.

Ainda, elementos cerâmicos, principalmente tijolos insuficientemente queimados e excessivamente porosos, podem apresentar pequena expansão pela incorporação de umidade após o assentamento, causando fissuras horizontais nas fiadas inferiores, junto a base da parede, provocadas pela umidade ascensional, consoante figura 18 (THOMAZ, 2000, p. 42).

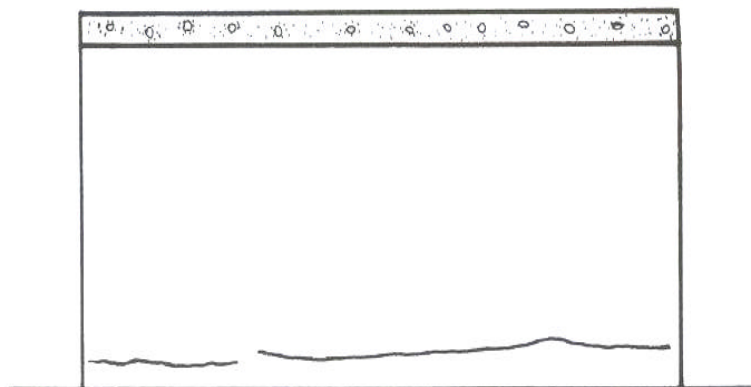


Figura 18: trinca horizontal na base de alvenaria por efeito da umidade do solo (THOMAZ, 2000, p. 42)

Existem basicamente dois tipos de fontes de alimentação de água nas paredes, apresentando sintomatologia e formas de reparação distintas: águas freáticas e águas superficiais.

Henriques (1995, p. 11), ressalta que nas situações em que a umidade é proveniente de águas freáticas, os fenômenos apresentam-se inalterados durante todo o ano, em virtude do tipo de fonte de alimentação estar ativo no período inteiro, além de que a altura das manchas de umidade serem constantes em todas as paredes, sendo maiores nas interiores que nas exteriores, em função das condições de evaporação serem menos favoráveis (figura 19a).

Quando são as águas superficiais que acarretam a umidade os fenômenos apresentam variações ao longo do ano, podendo a altura da umidade variar de parede para parede, sendo de nível mais alto nas exteriores que nas interiores na medida em que aquelas são mais afetadas pela respectiva fonte de alimentação (figura 19b).

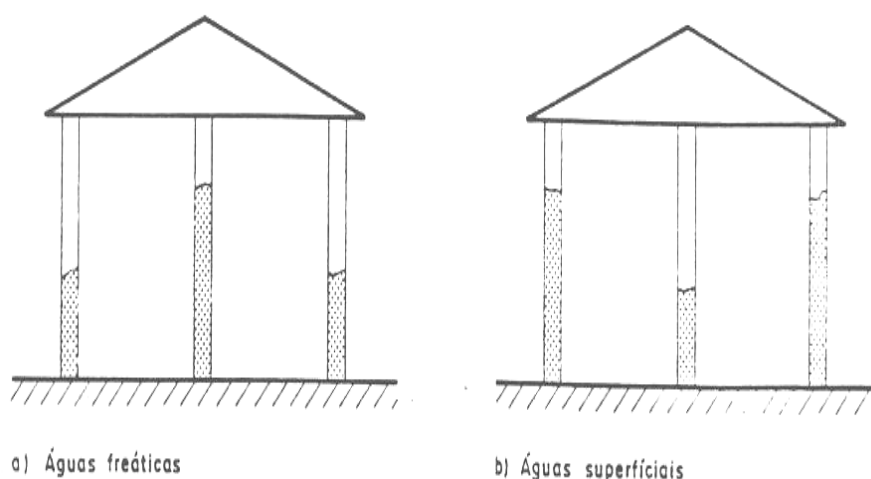


Figura 19: variação das alturas atingidas pela umidade do terreno em paredes interiores e exteriores, em função do tipo de alimentação (HENRIQUES, 1995, p. 12)

Quando a umidade ascensional atinge a parede, sua eliminação pode ser feita, geralmente, através dos seguintes métodos (POLISSENI, 1986, p. 27).

- a) inserção de uma membrana impermeável na base da parede, com a função de interromper a ascensão da umidade;
- b) injeção de produtos impermeabilizantes;
- c) uso de tubos desumidificadores, facilitando a eliminação de umidade por evaporação;
- d) uso da eletrosmose.

2.3.2 Umidade de precipitação

Em função do progresso tecnológico, seria esperado que este tipo de anomalia, provocada pela água das chuvas, deveria ter o seu aparecimento restringido, atualmente, às construções antigas. De fato, com as normas existentes para a execução das paredes a fim de garantir a sua estanqueidade e com a evolução dos materiais de construção, não se justifica o aparecimento de anomalias em construções recentes. Mas a realidade é bem diferente e a umidade de precipitação aparece indistintamente em construções novas e antigas. Este problema pode

aparecer devido a deficiências de concepção ou de manutenção, como por exemplo, pelo aparecimento de fissuras, deterioração do revestimento, entre outros.

Segundo Nappi (1996, p. 539), a chuva, por si só, não constitui ação especialmente grave para as paredes dos edifícios, desde que o componente vento não lhe esteja associada. Entretanto, na maior parte das situações, a precipitação é acompanhada por uma dada intensidade de vento, que dá origem a um componente horizontal na trajetória da chuva, tanto maior quanto maior for a intensidade do vento. Desta maneira, quando a trajetória da chuva se afasta da vertical por efeito do vento, as paredes dos edifícios ficam sujeitas a uma ação de molhagem que pode constituir um importante fator de risco de umedecimento dos paramentos interiores da edificação e de diminuição da resistência térmica de seus materiais constituintes.

Conforme Torres (1998, p. 17) a penetração da água da chuva nas paredes é um fenômeno normal que não apresenta problemas se aqueles elementos tiverem sido concebidos para resistirem a este tipo de ação, impedindo que a água infiltrada atinja os paramentos interiores.

As anomalias devido à ação da água da chuva, no relato de Henriques (1995, p. 15), manifestam-se através do aparecimento de manchas de umidade de dimensões variáveis nos paramentos interiores das paredes exteriores, em correspondência com ocorrências de precipitação. Estas manchas tendem a desaparecer quando cessam os períodos de chuva, não sendo visíveis quando o tempo apresenta-se seco. Nas zonas que sofreram umedecimento, é freqüente o surgimento de bolores, eflorescências e criptoflorescências.

Segundo Polisseni (1986, p. 28), para se prevenir deste tipo de umidade nas edificações, é necessário dar uma maior importância para a envoltória da edificação, levando em consideração os seguintes fatores:

- a) as condições climáticas locais - direção e intensidade do vento e precipitações;
- b) análise da fachada quanto aos detalhes construtivos (tais como pingadeiras e molduras), com o intuito de proteger as juntas, janelas, portas e paredes;
- c) verificação, através de ensaios, do desempenho quanto à estanqueidade à água de componentes (portas, janelas, etc) e dos elementos, como por exemplo, paredes com o sistema de pintura;

- d) avaliação do desempenho ao longo do tempo e programação da manutenção, através da análise da durabilidade das soluções empregadas.

2.3.3 Umidade de condensação

Outro modo pelo qual a umidade nas edificações pode se apresentar é através da condensação. Este tipo de umidade pode ocorrer de duas formas distintas, ou seja, condensação sobre as superfícies ou condensação interna.

2.3.3.1 Noções gerais sobre ar úmido

Segundo Nappi (1986, p. 539), o ar é constituído por uma mistura de gases e por vapor de água. A quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter, designada limite de saturação, é limitada e varia proporcionalmente com a temperatura, isto é, aumentando ou diminuindo consoante a temperatura do ar aumenta ou diminui, respectivamente.

Designa-se umidade relativa (Hr) o quociente da quantidade de vapor que o ar contém - umidade absoluta (W) - pela quantidade máxima que poderia conter a essa temperatura - limite de saturação (Ws) -, conforme a equação 3.

$$Hr = W/Ws \quad (\text{equação 3})$$

Quando o ar encontra seu limite de saturação, a respectiva umidade relativa é de 100% na medida que, neste caso, a umidade absoluta é idêntica ao limite de saturação. Facilmente se compreende que a umidade relativa varia conforme a temperatura que esse ar se encontre, diminuindo quando a temperatura aumenta, visto que neste caso aumenta o limite de saturação, e aumentando quando a temperatura decresce, porque o limite de saturação também decresce, isto mantendo-se constante a umidade absoluta, ou seja, a quantidade de vapor de água que o ar contém.

2.3.3.2 Condensações superficiais

Como se viu anteriormente, o arrefecimento de uma massa de ar pode provocar condensações de vapor de água, sempre que seja atingido o limite de saturação correspondente a uma dada temperatura.

Ainda, o fato da temperatura superficial das paredes ser menor que a temperatura do ar ambiente dá origem ao aumento da umidade relativa da camada de ar em contato com elas, podendo provocar condensações.

Polisseni (1986, p. 29), relata que a maioria das paredes das edificações são constituídas de materiais porosos, tais como tijolos, revestimento de gesso, cal, entre outros. A condensação superficial que ocorre na parede é absorvida por estes materiais, tornando-os úmidos. Caso este tipo de condensação ocorra freqüentemente sobre a parede, poderá surgir o desenvolvimento de bolor, que deteriorará os materiais constituintes da parede.

Para evitar a formação da condensação superficial sobre um local, a temperatura da superfície da parede não deve ser inferior à temperatura de orvalho do ar ambiente, isto é, a temperatura para o qual o vapor da água começa a condensar-se. Isto é alcançado com a utilização de material isolante na parede da edificação, que reduz as perdas térmicas e, por conseqüência, aumenta a temperatura da superfície da parede.

Em resumo e, em termos genéricos, consoante Polisseni (1996, p. 30) e complementado por Henriques (1995, p. 26), pode-se evitar a ocorrência de condensações superficiais em paredes da seguinte forma:

- a) controlando as condições de ocupação, das quais depende a produção de vapor nas edificações;
- b) ventilação dos locais;
- c) aumento da temperatura superficial do elemento de construção, obtida através do correto isolamento térmico das paredes em contato com espaços mais frios;
- d) controle da temperatura ambiente no interior da edificação.

2.3.3.3 Condensações internas

Como se viu anteriormente, o ar quente é capaz de possuir uma quantidade de vapor d'água maior que o ar frio. A medida que a temperatura do ar aumenta, cresce a pressão de saturação do vapor d'água (p'), conforme observa-se no quadro 5.

θ (° c)	p' (mm Hg)	x_s (g/kg)	θ (° c)	p' (mm Hg)	x_s (g/kg)
-10	1,95	1,60	10	9,21	7,63
-9	2,13	1,75	11	9,84	8,15
-8	2,32	1,91	12	10,52	8,75
-7	2,53	2,08	13	11,23	9,35
-6	2,76	2,27	14	11,99	9,97
-5	3,01	2,47	15	12,79	10,60
-4	3,28	2,69	16	13,63	11,40
-3	3,57	2,94	17	14,53	12,10
-2	3,88	3,19	18	15,48	12,90
-1	4,22	3,47	19	16,48	13,80
0	4,58	3,78	20	17,54	14,70
1	4,93	4,07	21	18,65	15,60
2	5,29	4,37	22	19,83	16,60
3	5,68	4,70	23	21,07	17,70
4	6,10	5,03	24	22,38	18,80
5	6,54	5,40	25	23,76	20,00
6	7,01	5,79	26	25,21	21,40
7	7,51	6,21	27	26,74	22,60
8	8,05	6,65	28	28,35	24,00
9	8,61	7,13	29	30,04	25,60

Quadro 5: pressão de saturação do vapor d'água (p') e o teor máximo de vapor d'água (x_s) (LOUVIGNÉ, 1986, p. 33)

A pressão de vapor de água em cada situação pode ser obtida através do produto da umidade relativa do ar pela pressão de saturação à temperatura considerada (POLISSENI, 1986, p. 33), como apresentado na equação

$$P = p' \cdot \varphi \quad (\text{equação 4})$$

onde:

P = pressão do vapor d'água (Pa);

p' = pressão de saturação do vapor d'água (Pa);

ϕ = umidade relativa, expressa em %.

Havendo diferença de pressão de vapor entre o ar exterior e o ar interior, surgirá um processo de difusão de vapor d'água. A esse processo opõe-se a resistência à difusão do vapor d'água, que é uma propriedade característica de cada material, estabelecendo assim um gradiente de pressões de vapor ao longo da espessura da parede. Caso a pressão de vapor d'água atingida no interior da parede seja superior à pressão de saturação d'água, que é função da temperatura local do material e da própria parede, haverá condensação interna.

De acordo com Henriques (1995, p. 33), considerando constantes as condições higo-térmicas dos ambientes exterior e interior, os fatores que influenciam a ocorrência deste tipo de condensação são de dois tipos:

- a) as características do isolamento térmico de vários materiais que constituem as paredes, que condicionam as respectivas temperaturas no interior e irão determinar os valores da pressão de saturação em cada ponto;
- b) as características de permeabilidade ao vapor d'água daqueles materiais, que determinarão as variações da pressão parcial ao longo da parede.

A condensação interna, segundo Polisseni (1986, p. 33) é responsável por diversos danos à parede, tais como:

- a) aumento do coeficiente de condutibilidade térmica do isolamento térmico;
- b) degradação dos materiais sensíveis à água;
- c) dilatação dos materiais devido à umidade;
- d) formação de bolhas, devido à expansão do vapor, que tendem a causar danos às pinturas;
- e) descolamentos e fissuração das impermeabilizações.

Na prática, de acordo com o mesmo autor, a condensação no interior das paredes é evitada pela disposição correta de materiais isolantes ou mesmo pelo uso de barreiras de vapor, que

consistem em uma camada de material que apresente grande resistência à difusão do vapor d'água, cuja finalidade é diminuir o fluxo de vapor d'água difundido e a pressão nas camadas subjacentes. Normalmente a barreira é constituída de um filme de material metálico, plástico ou betuminoso colocado o mais o próximo possível da face interna da parede.

2.3.4 Umidade devido a fenômenos de higroscopicidade

Conforme Henriques (1995, p. 37), muitos materiais de construção existentes no mercado possuem em sua constituição sais solúveis em água, o mesmo acontecendo nos solos, especialmente aqueles ricos em matéria orgânica. Estes sais, quando depositados em ambientes secos não oferecem problemas. No entanto, quando existir umidade, os sais se dissolvem e migram juntamente com a água até a superfície, onde se cristalizam. Quando a cristalização se dá na superfície do revestimento é denominada de eflorescência e, quando as eflorescências ocorrem no interior do elemento, não sendo visíveis em sua superfície, esta manifestação é chamada de criptoeflorescência.

Torres (1998, p. 19) afirma, ainda, que alguns destes sais são higroscópicos, isto é, tem a propriedade de absorverem umidade do ar, dissolvendo-se quando a umidade relativa do ar está acima de 65-75%, voltando a cristalizar com um aumento significativo de volume quando a umidade relativa baixa daqueles valores. Dessa forma, estes sais são susceptíveis de provocarem não só o umedecimento das superfícies sobre as quais se encontram mas, também, darem origem a fenômenos de degradação, resultantes dos aumentos de volume que acompanham a sua cristalização, em consequência da sucessão de ciclos de dissolução-cristalização.

Segundo Beichel (1997, p. 358) e Souza (1997, p. 351), os sais solúveis que se encontram associados, com maior frequência, a ocorrência de manifestações patológicas são os sulfatos, carbonatos, cloretos, nitritos e os nitratos, dos quais os dois primeiros não são higroscópicos.

As anomalias que tem por origem estes fenômenos decorrentes da higroscopicidade dos sais, conforme Nappi (1996, p. 540) são caracterizadas pelo aparecimento de manchas de umidade nos locais com forte concentração de sais e, em certos casos, associados a degradação dos revestimentos da parede.

De acordo com Henriques (1995, p. 142) as anomalias por umidade decorrentes de fenômenos de higroscopicidade podem ser sanadas através da remoção dos sais higroscópicos – pela utilização de compressas de água destilada, visando a redução da concentração de sais ou pelo uso de argamassas de recuperação, substituição dos elementos afetados ou pelo controle da umidade relativa do ar.

2.3.5 Umidade de construção

Entende-se por umidade da construção, conforme Torres (1998, p. 15), o teor de umidade que os elementos de construção apresentam e que é devido à introdução de água durante a execução da obra. Esta água poderá ter duas origens: como constituinte de argamassas e concretos ou para umedecimento de componentes da edificação, por exemplo tijolos, ou resultar da precipitação pluvial incidente durante o período de construção, quando a edificação não encontra-se devidamente protegida.

Parte desta quantidade de água evapora rapidamente, mas a outra parte demora muito tempo para fazê-lo. Segundo Henriques (1995, p. 3), o processo de secagem de materiais porosos acontece em três fases distintas. Na primeira, ocorre apenas a evaporação da água superficial. A segunda fase evapora a água contida nos poros de maiores diâmetros. Finalmente, a liberação da água existente nos poros de menores dimensões, cujo processo é extremamente lento, e pode acontecer ao longo de muitos anos.

A umidade de construção consoante este autor, pode dar origem à ocorrência de anomalias generalizadas ou localizadas, quer devido à evaporação da água existente, quer pelo fato de os materiais terem um teor de água superior ao normal. Alucci et alli (1988, p. 569) salientam que a umidade remanescente nos materiais e componentes da edificação, após o início de uso da mesma, pode acarretar, por exemplo, a diminuição da resistência térmica de materiais e componentes, contribuindo para a ocorrência de condensação de vapor de água, favorecendo a incidência e proliferação de bolor.

Conforme Nappi (1996, p. 539), as anomalias devido a este tipo de umidade dependem das características e do tipo de utilização do edifício e da região climática em que o mesmo está inserido.

Henriques (1995, p. 85), relata que na ocorrência de anomalias por umidade decorrente da construção, as soluções a adotar consistem na criação de condições ambientais que favoreçam a secagem das paredes. Isto pode ser alcançado, através do reforço da ventilação dos ambientes, aumento da temperatura do ar ou diminuição da umidade relativa do ar.

2.3.6 Umidade acidental

Torres (1998, p. 19), salienta que por serem muitas as ocorrências deste tipo de umidade, torna-se difícil sistematizar todas as causas possíveis. Mas, de maneira geral, caracterizam-se pela natureza pontual, em relação a sua localização e decorrem, normalmente, em falhas de equipamentos ou defeitos de construção decorrentes de acidentes, mal dimensionamento ou falta de manutenção.

Conforme Verçosa (1991, p. 150), dentre as causas mais comuns que podem estar relacionadas à umidade acidental encontram-se a ruptura de canalizações de água, esgotos ou águas pluviais ou aquelas provenientes de coberturas ou acabamentos desta.

Por fim, Henriques (1995, p. 41), relata que os sintomas associados aos fenômenos de umidade devido a causas acidentais são muito variáveis, apresentando, contudo, algumas características típicas, das quais se destacam as seguintes:

- a) natureza localizada das anomalias;
- b) associação com períodos de precipitação em situações relacionadas com infiltração de água das chuvas e maior gravidade dos fenômenos em relação aos que resultariam normalmente daquelas infiltrações;
- c) caráter permanente e de grande gravidade em situações de ruptura de canalizações, eventualmente sazonais se estas forem de águas pluviais;
- d) migração da umidade para locais afastados da origem das anomalias em situações em que o débito de água propicie a atuação dos mecanismos de capilaridade.

3 ALVENARIAS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Alvenaria é definida como um componente complexo, conformado em obra, constituído por tijolos ou blocos - chamados componentes da alvenaria, unidos entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e homogêneo.

Consoante Bussab e Cury (1990, p. 21), as funções da alvenaria são resistir às cargas de ventos e outros efeitos e às solicitações das tentativas de intrusão, sem que a segurança de seus ocupantes seja prejudicada; resistir a impactos sem manifestar sinais de ruína; isolar acusticamente os ambientes; resistir à ação do fogo, sem contribuir para o início do incêndio, para a propagação da chama e nem para a produção de gases tóxicos; contribuir para o conforto térmico da edificação e impedir a entrada de ar e chuva no interior dos ambientes. Ressalta-se, entretanto, que as funções das alvenarias devem ser adotadas em decorrência das necessidades de cada local.

As características dos materiais e do processo construtivo têm reflexo direto na capacidade da alvenaria em resistir à passagem de água. Desta maneira, o desempenho da alvenaria irá depender da interação entre os componentes utilizados, das características da argamassa e dos materiais que lhe dão origem, da mão-de-obra e da técnica de execução utilizada.

Conforme Kazmierczak (1989, p. 40), a penetração de água em alvenarias pode ocorrer através de aberturas que possam existir nos componentes; na argamassa ou por fissuras na argamassa e na interface entre os componentes da alvenaria e a argamassa de assentamento (por meio de capilares).

Entretanto, o trabalho de Grimm (1982 apud SABBATINI, 1984, p. 188) revela que as infiltrações em paredes de alvenaria são causadas, primordialmente, pela água que permeia por fissuras maiores que 0,1 mm, na interface tijolo e argamassa. A água que infiltra através do tijolo ou da argamassa, por capilaridade, não é significativa. De igual forma, Newman e

Whiteside (1981 apud SABBATINI, 1984, p. 268) confirmam que a percolação se dá primariamente através de fissuras da ordem de 0 a 1 mm, nas interfaces bloco-argamassa.

3.2 UNIDADES DE ALVENARIA

Pereira (1990, p. 43), descreve blocos e tijolos como componentes industrializados para a execução de alvenarias modulares. Eles são apresentados em diversos modelos e dimensões e confeccionados em vários materiais.

Neste aspecto, Roman et alli (1999, p. 21) sintetizam a classificação das unidades de alvenaria conforme o quadro 6.

BLOCOS	TIJOLOS	
	Maciços	Furados
Cerâmico Concreto Sílico-calcário	Cerâmicos Concreto Sílico-calcário	Cerâmico

Quadro 6: classificação das unidades de alvenaria (ROMAN et alli, 1999, p. 21)

Kazmierczak (1989, p. 43), relata que na análise de um componente segundo o desempenho com relação à estanqueidade à água, a propriedade de maior importância nos componentes de alvenaria é a absorção. Mesma opinião possui Bauer (1987, p. 13), ao afirmar que a propriedade de maior relevância do tijolo é a absorção.

Conforme estes autores, a ligação entre os componentes e a argamassa sofre grande influência da capacidade de absorção inicial dos componentes, tendo em vista que uma grande absorção pode retirar grande quantidade de água de amassamento da argamassa e diminuir a trabalhabilidade, proporcionando uma má ligação entre os elementos da alvenaria e implicando em maior percolação de umidade.

Inúmeras investigações têm mostrado, consoante Jaworoski (1990, p. 56) que a resistência de aderência é afetada pela taxa inicial de absorção do substrato. A velocidade de absorção de água do substrato depende do diâmetro, da distribuição e das características de absorção dos poros, os quais interagem com a tensão superficial da pasta na determinação do ângulo de

contato entre o menisco e a parede do poro e, em decorrência, determina a pressão capilar. Sabbatini (1984, p. 126) ressalta que a rápida ou muito lenta sucção inicial faz com que os blocos retirem água de amassamento com uma velocidade inadequada para o desenvolvimento de uma eficiente aderência. Deste modo, existe uma faixa intermediária de valores de sucção inicial para o qual a resistência de aderência é otimizada.

Neste aspecto Kazmierczak (1989, p. 44) relata que se a taxa de absorção inicial do componente for muito reduzida, a aderência ficará comprometida, uma vez que o fenômeno de encunhamento entre o componente e a argamassa será prejudicado. Não havendo absorção pelo componente, o material aglomerante da argamassa (cimento e/ou cal) não irá penetrar nos poros superficiais do componente, resultando em má adesão. Pode ocorrer, também, a formação de um filme de água entre a argamassa e o componente, resultando em má aderência. Ainda consoante este autor, outros fatores a serem observados em um componente são a variação dimensional e resistência à compressão. Quando a variação dimensional é grande, fica difícil manter juntas homogêneas, com espessura regular. Da mesma forma o revestimento terá espessura irregular. Já com relação à resistência à compressão, esta propriedade é usualmente considerada como indicador de qualidade de um componente perante os construtores. No entanto, com relação à estanqueidade à água, esta propriedade nem sempre é indicador de um bom produto final. Mesmo que os componentes sejam pouco permeáveis e tenham alta resistência, se a absorção e a variação volumétrica não forem adequadas, a alvenaria resultante poderá ter desempenho deficiente.

Neste sentido, mesma opinião possui Bauer (1987, p. 14) ao comentar que muitas vezes associa-se a resistência do componente com a sua impermeabilidade. Ocorre que paredes executadas com componentes de maior resistência geralmente apresentam bons resultados de estanqueidade à água por serem elaborados com matéria prima de melhor qualidade e com processo de fabricação mais controlado. Por tais características, geralmente apresentam índices de absorção menores, o que acarretará na melhoria da estanqueidade da parede, tanto através do componente – pela absorção menor – como pela interface argamassa de assentamento-componente, por haver maior probabilidade de uma boa e extensa ligação.

A perda de água da argamassa difere em função dos componentes possuírem sucções diferentes. Ensaios realizados por Davison (1961, p. 387) demonstram esta assertiva, conforme figura 21.

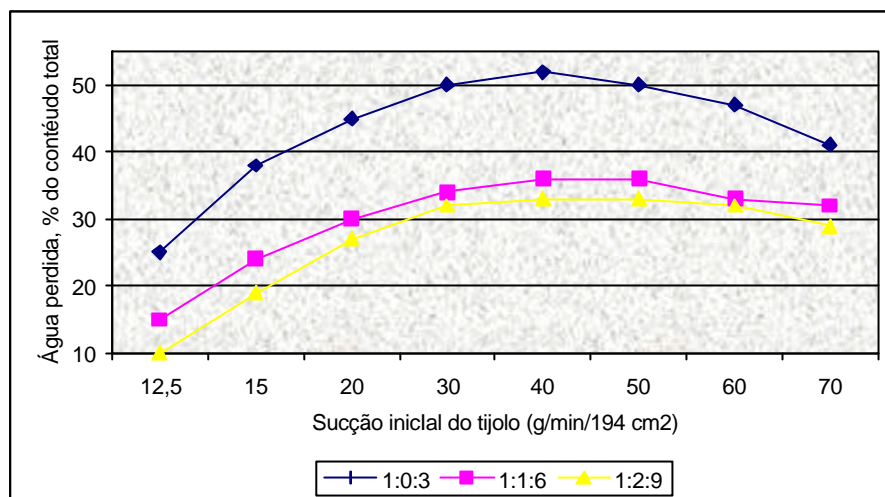


Figura 21: perda de água da argamassa em função da sucção dos blocos – tempo de contato 4 minutos (DAVISON, 1961, p. 387)

Desta forma, é aconselhável o uso de argamassas com alta retenção de água e componentes com baixa absorção inicial. Segundo Ritchie e Plewes (1955 apud KAZMIECZAK, 1989, p. 58), a perda de adesão entre os componentes e a argamassa diminui consideravelmente quando são usadas combinações de componentes de baixa ou moderada absorção e argamassas com alta retenção de água, conforme demonstra a figura 22.

Por fim, segundo Jaworoski e Campagnolo (1990, p. 336) as condições da superfície, principalmente com relação a umidade anterior ao assentamento (tratamento da sucção) e a textura superficial das unidade também são fatores que afetam a aderência. A existência de partículas soltas, do mesmo modo, pode diminuir a extensão de aderência.

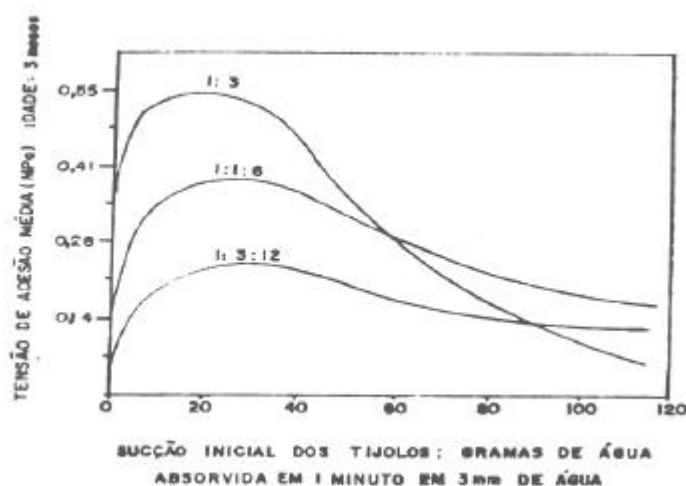


Figura 22: relação entre sucção inicial e extensão de adesão (RITCHIE; PLEWES, 1955 apud KAZMIERCZAK, 1989)

Neste sentido, Ritchie (1957 apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 46) destacam que outros fatores devem ser analisados em um componentes com relação a permeabilidade, como:

- a) fissuras: a existência de fissuras nos componentes aumenta substancialmente a passagem de água através dos componentes e da interface;
- b) ranhuras: a existência de ranhuras superficiais ou de uma região reentrante no tijolo (mossas, cavidades), efetuadas com a finalidade de aumentar a aderência da argamassa com o componente, não apresentam melhora significativa no desempenho com relação a estanqueidade;
- c) textura superficial: uma superfície muito rugosa pode ocasionar falhas na ligação entre o componente e a argamassa, caso a argamassa não possua trabalhabilidade adequada para tal situação. Do mesmo modo, impurezas aderidas à superfície devem ser removidas antes da utilização do componente.

3.3 ARGAMASSAS

A NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998), define argamassa como a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência. Idêntica definição é utilizada por Petrucci (1976, p. 351), ao relatar que as argamassas são materiais de construção constituídos por uma mistura íntima de

um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água. Além destes componentes essenciais, presentes nas argamassas, podem ser adicionados produtos especiais, com o objetivo de melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto.

Segundo Dubaj (2000, p. 1), as argamassas são constituídas por material ativo - a pasta - e por material inerte - o agregado miúdo. A adição de agregado miúdo à pasta, no caso de argamassas de cimento, barateia o produto e elimina em parte as modificações de volume; no caso das argamassas de cal, a presença de areia, além de oferecer as vantagens acima apontadas, ainda facilita a passagem de anidrido carbônico do ar, produzindo a recarbonatação do hidróxido de cálcio, com conseqüente solidificação do conjunto.

De acordo com Petrucci (1976, p. 354), várias são as classificações que podem ser apontadas para as argamassas. Entre as principais, pode-se citar:

- a) quanto ao emprego,
 - argamassas comuns: quando se destinam a obras correntes;
 - argamassas refratárias: quando devem resistir a elevadas temperaturas. Neste caso, serão elaboradas com agregados especiais, tais como vermiculita e argila refratária;
- b) quanto ao aglomerante,
 - aéreas: formadas por cal aérea e gesso;
 - hidráulicas: de cal hidráulica ou cimento;
 - mistas: com um aglomerante aéreo e um hidráulico, geralmente cal aérea e cimento;
- c) quanto ao número de elementos,
 - simples: quando possuem apenas um elemento ativo;
 - compostas: quando possuem mais de um elemento ativo;
- d) quanto à dosagem,
 - pobres ou magras: quando o volume de aglomerantes é insuficiente para preencher os vazios entre os grãos do agregado;
 - cheias: quando os vazios acima referidos são preenchidos exatamente pela quantidade de pasta existente;
 - ricas ou gordas: quando há um excesso de pasta.

3.3.1 Funções das argamassas

Jaworoski (1990, p. 14) salienta que em inúmeras vezes, não ocorre uma interpretação correta a respeito da influência da argamassa de assentamento no desempenho funcional da alvenaria. Apesar da utilização da argamassa para assentamento de unidade de alvenaria datar do início da civilização, somente nos últimos anos a tecnologia das argamassas vem recebendo um enfoque mais racional. Antigamente, e ainda hoje sob certos aspectos, os avanços eram obtidos por tentativa e erro e, então, repassados de geração em geração. Em parte, esta situação é proveniente da confusão existente entre argamassa e concreto. Apesar de ambos serem confeccionados com os mesmos componentes, suas funções e empregos são bastante distintos.

As argamassas de assentamento devem apresentar, conforme Jaworoski e Campagnolo (1990, p. 333), as seguintes funções primárias:

- a) unir solidariamente os componentes de alvenaria (blocos ou tijolos) e ajudá-los a resistir a esforços laterais;
- b) distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente das unidades;
- c) absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- d) selar as juntas contra a penetração da água.

Segundo os mesmos autores, para que estas funções possam ser atendidas, existem certas propriedades que a argamassa deve possuir:

- a) trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) adequada;
- b) capacidade de retenção de água compatível com as características de sucção das unidades (blocos ou tijolos);
- c) adquirir rapidamente alguma resistência e desenvolver com o tempo resistência adequada;
- d) aderir às unidades de maneira a proporcionar, nas interfaces da alvenaria, juntas estanques e suficiente capacidade resistente frente a ação de esforços de cisalhamento e de tração;

- e) ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais e da construção como um todo;
- f) ter suficiente resiliência, de modo a acomodar tanto as deformações intrínsecas como as decorrentes de movimentos estruturais de pequena amplitude, sem fissurar.

Cabe salientar, por fim, que as funções que as argamassas devem atender, serão adotados em decorrência das necessidades de cada situação em particular.

3.3.2 Propriedades das argamassas

3.3.2.1 Propriedades no estado fresco

3.3.2.1.1 Trabalhabilidade

Cavalheiro (1995, p. 135), considera argamassa trabalhável aquela que mantêm-se íntegra sobre a colher de pedreiro durante o manuseio horizontal (coesão), deslizando sem *grudar* quando da colocação sobre a unidade (fluidez), além de possibilitar espalhamento fácil sobre a unidade (extensão), permanecendo plástica durante o alinhamento, prumo e nível das unidades.

Jaworoski e Campagnolo (1990, p. 335), ressaltam que esta propriedade é essencial para assegurar a extensão de aderência, isto é, a penetração da argamassa em todos os interstícios do tijolo. A trabalhabilidade provém da combinação de várias propriedades, como: plasticidade, fluidez e coesão, que por sua vez estão relacionadas com as seguintes características: relação água-aglomerante, relação aglomerante-agregado miúdo, natureza e qualidade dos aglomerantes, a distribuição granulométrica do agregado (pelo seu módulo de finura e pela forma dos grãos), teor e natureza dos aditivos e conteúdo de ar.

Ainda sob este aspecto, Bianchin (1999, p. 40) relata que existe uma unanimidade entre os especialistas da área de materiais de construção, de que a trabalhabilidade é uma das mais

importantes propriedades das argamassas no estado fresco, interferindo diretamente nas atribuições dos pedreiros, na aderência com o substrato e nas propriedades no estado endurecido. Segundo a autora, a trabalhabilidade é um somatório de propriedades agindo conjuntamente na argamassa como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, tixotropia, exsudação, tempo de pega e adesão inicial.

De acordo com Sabbatini (1984, p. 85), a importância da trabalhabilidade é que pelas suas características reológicas e por influir diretamente na qualidade do serviço do pedreiro, todas as demais propriedades desejáveis a ela se subordinam. Segundo Davison (1974 apud SABBATINI, 1984, p. 85), boa trabalhabilidade e boa retenção de água são fatores essenciais para uma máxima aderência entre as unidades de alvenaria.

3.3.2.1.2 Retenção de água

Cincotto et alli (1995, p. 24) definem retenção de água como a capacidade que a argamassa fresca possui de reter sua água quando a ela são aplicadas solicitações que provocam a perda de parte da água de amassamento durante o processo de cura. Estas solicitações podem ser devidas a três componentes: à evaporação, à sucção e à absorção pelo componente em contato.

Segundo Sabbatini (1984, p. 86), a capacidade de retenção de água está intimamente relacionada com a tensão superficial da pasta aglomerante. Aumenta-se a capacidade de retenção de água aumentando-se a superfície específica dos constituintes ou utilizando-se aditivos que, por suas características, absorvam a água (como, por exemplo, os derivados da celulose) ou impeçam a percolação da água (aeradores). Conforme Guimarães (1997, p. 198), a cal apresenta boas características de retenção de água, em função de sua elevada superfície específica e, também, devido a grande capacidade adsortiva de seus cristais.

Ainda sob este aspecto, Jaworoski (1990, p. 55) afirma que uma argamassa tende a conservar a água necessária para molhar a superfície das partículas dos aglomerantes, dos agregados, das bolhas de ar incorporadas e das macromoléculas presentes como micelas coloidais. Somente a água em excesso é cedida facilmente ao tijolo por sucção. A maior retenção de

água se dá nas argamassas que, como as mistas e de cimento pozolânico, contém aglomerantes com alto grau de finura.

Conforme o mesmo autor, a retenção de água diminui na seguinte ordem:

- a) argamassas com aditivos para retenção de água;
- b) argamassas com aditivos incorporadores de ar;
- c) argamassa de cimento com adições;
- d) argamassas mistas;
- e) argamassa de cimento.

De acordo com Cincotto et alli (1995, p. 24), os fatores que influenciam a capacidade de retenção de água em argamassas mistas de cimento e cal são:

- a) superfície específica dos materiais: devido ao número de íons ativos por unidade de superfície, sendo os aglomerantes os principais responsáveis;
- b) maturação da pasta de cal: a maturação prévia da pasta de cal melhora a capacidade de retenção de água e plasticidade da mesma, resultando em melhores condições de hidratação do cimento se comparado à situação de adição em pó à mistura, face a completa hidratação de seus óxidos e, por consequência, melhora a resistência de aderência;
- c) natureza e qualidade da cal: a cal dolomítica apresenta resultados melhores com relação à retenção de água;
- d) teor de cal (relação cimento/cal): a adição de cal deve ser pelo menos igual em proporção à de cimento;
- e) relação agregado/aglomerante: a retenção decresce quando aumenta a relação agregado/aglomerante, para uma mesma relação cal/cimento.

Antunes et alli (1997, p. 177), avaliaram argamassas mistas e argamassas de cimento. Os autores constataram que as argamassas mistas apresentavam-se mais coesas e mantinham-se trabalháveis por períodos mais longos. Em contrapartida, as argamassas de cimento e areia apresentavam aspecto áspero e pouco coeso, apresentando forte tendência à exsudação.

Rago e Cincotto (1995, p. 31), também concluíram que a substituição gradativa de cimento por cal, aumenta a viscosidade das pastas, mantendo-se a mesma relação água/aglomerante, evidenciando que a cal propicia maior coesão entre as partículas sólidas.

Consoante Sabbatini (1984, p. 87), a retenção de água é uma propriedade importante para as argamassas no estado fresco, bem como é a responsável por muitas propriedades no estado endurecido. Quanto menor for a retenção de água, maior a possibilidade de ocorrência de retração na secagem, menor a resistência de aderência e menor a capacidade da argamassa em absorver deformações. Ainda, poderá ocorrer a diminuição da resistência da argamassa tendo em vista que a hidratação do cimento e a carbonatação da cal serão prejudicadas com a perda inadequada da água, prejudicando a durabilidade e a estanqueidade da parede.

3.3.2.2 Propriedades no estado endurecido

3.3.2.2.1 Resiliência

Resiliência de uma argamassa, conforme Sabbatini (1984, p. 90) é a capacidade que esta possui de se deformar sem apresentar ruptura quando sujeita a solicitações diversas e de retornar à dimensão original, quando cessam estas solicitações. Contudo, este sentido é entendido, para o caso das argamassas, para o estado de deformação plástica em que a ruptura ocorre sob a forma de fissuras microscópicas ou capilares não superficiais. Ainda conforme o mesmo autor, as fissuras prejudiciais são aquelas que permitem a penetração de água da chuva através da parede ou que pelas suas características, tragam prejuízos aos requisitos do usuário de ordem psico-sociais.

Neste aspecto, Cincotto et alli (1995, p. 30) complementam, afirmando que a resiliência é uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento e, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, por conseqüência, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade.

Sabbatini (1984, p. 90) relata que a resiliência de uma argamassa está inversamente relacionada com o seu módulo de deformação. Neste aspecto, Fiorito (1994, p. 60), descreve

que as tensões de tração e o módulo de elasticidade são maiores nas argamassas ricas (maior teor de cimento), ou seja, as argamassas ricas deformam-se menos em relação às argamassas mais pobres (menor teor de cimento). Esta diferença nas tensões de tração entre as argamassas ricas e pobres são da ordem de 9 a 12 vezes. Na figura 23, fica demonstrada a evolução das tensões de tração nos revestimentos em argamassas ricas e pobres à medida que ocorre a secagem do revestimento.

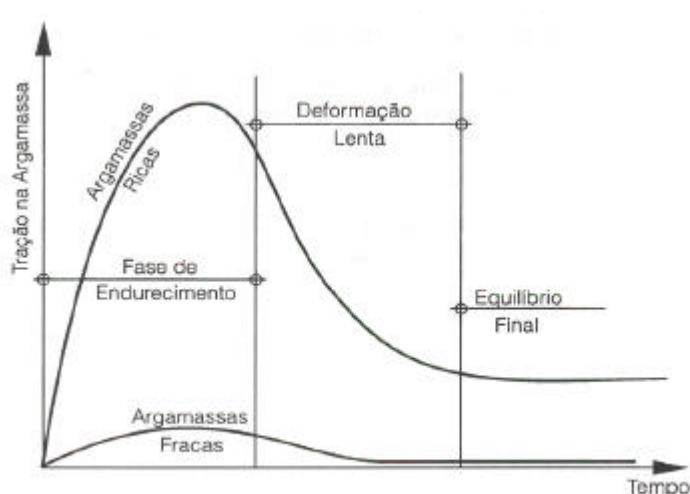


Figura 23: evolução das tensões de tração ao longo do tempo nos revestimentos em argamassas (FIORITO, 1994, p. 61)

De acordo com Dubaj (2000, p. 17) os fatores que influem no módulo de deformação da argamassa endurecida são os seguintes:

- a) relação água/cimento e resistência mecânica: o módulo de deformação decresce com o aumento da relação água/cimento da argamassa e aumenta com a resistência mecânica - argamassas mais rígidas;
- b) teor de agregado: o módulo de deformação diminui com o aumento do teor de agregado na argamassa, mais a partir de certo teor o módulo de deformação volta a crescer, como resultado da maior rigidez da estrutura da argamassa, propiciada pela maior quantidade de agregado por volume de argamassa;
- c) consumo de cimento: argamassas com elevado consumo de cimento apresentam pouca capacidade de se deformarem, prejudicando o desempenho dos revestimentos;

- d) teor de cal: o módulo de deformação longitudinal decresce forte e continuamente, a medida que aumenta o volume de cal nas argamassas.

3.3.2.2.2 Aderência

Sabbatini (1984, p. 88) e Jaworoski (1990, p. 53) relatam que a aderência não é uma propriedade intrínseca da argamassa, pois ela depende também das características da base. Segundo esta autora, a aderência é uma conjugação de três propriedades da interface bloco-argamassa, quais sejam, a resistência de aderência à tração; resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência, assim definidos:

- a) resistência de aderência à tração é a resistência que a interface bloco-argamassa oferece quando submetida a uma força que atua perpendicularmente a ela no sentido de separar o bloco da argamassa;
- b) resistência de aderência ao cisalhamento pode ser conceituada como a resistência que a interface bloco-argamassa oferece quando submetida a uma força que age no seu plano;
- c) extensão de aderência corresponde a razão entre a área de contato efetivo entre a argamassa e o bloco e a área total possível de ser unida.

Conforme Selmo (1996 apud BIANCHIN, 1999, p. 58) a extensão de aderência depende:

- a) da trabalhabilidade - que é obtida através de uma boa coesão e retenção de água, pois isso favorece o lançamento e o espalhamento sobre a base;
- b) da execução do revestimento - a compactação e a prensagem tendem a aumentar a extensão de contato entre a base e o revestimento, aumentando, por consequência, a ancoragem do revestimento;
- c) da textura e porosidade da base - através do aumento da superfície disponível para ancoragem, a extensão de aderência pode ser ampliada;
- d) das condições de limpeza - a extensão de aderência é comprometida quando existirem camadas de baixa aderência, tais como, poeira, partículas soltas de areia, fungos, eflorescências, camadas de desmoldantes e graxas.

Neste sentido, Cincotto et alli (1995, p. 38), relatam que a aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e absorção de água, resistência

mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução no assentamento dos componentes da base. A natureza do aglomerante tem, também, influência sobre a aderência, em função da macroestrutura da pasta aglomerante. As argamassas contendo cal, de modo geral, em função da plasticidade e retenção de água, permitem o preenchimento das irregularidades da base repercutindo favoravelmente sobre a aderência.

Consoante Dubaj (2000, p. 15) a aderência é essencialmente mecânica, ocorrendo pela ancoragem da argamassa nas reentrâncias macroscópicas da superfície e, principalmente, pela ancoragem microscópica da pasta aglomerante nos poros da base. A penetração da pasta se dá por tensão capilar, que é inversamente proporcional ao diâmetro do poro. No caso dos revestimentos, a penetração da pasta aumenta conforme o acréscimo de energia no processo de aplicação.

Complementando a questão, Boggio e Solano (1990, p. 319) citam que a ligação tijolo com argamassa se dá, basicamente, por dois processos:

- a) por intertravamento mecânico conseguido no processo de assentamento. As argamassas que contém cal endurecem mais lentamente, permitindo pequenas acomodações durante o processo de assentamento, sem degradar a ligação;
- b) por reconstituição química através da recomposição autógena, no caso de argamassas que contenham cal. Nestes casos, a cal é solubilizada em água e migra através dos poros, preenchendo-os. Esta em contato com o ar, com umidade relativa variando de 25 a 100%, se carbonata e estabiliza. O carbonato liga as discontinuidades e aumenta a aderência.

Por fim, aspectos como mão-de-obra e condições de cura também possuem influência sobre a aderência. Sabbatini (1984, p. 130) salienta que os procedimentos mais comuns com relação a mão-de-obra que afetam a qualidade da alvenaria, no aspecto da aderência, são os seguintes:

- a) preenchimento incompleto da junta. Os tijolos e blocos devem ser assentados com juntas totalmente preenchidas, pois falhas de preenchimento correspondem a uma redução da extensão de aderência;
- b) perturbação dos blocos após o assentamento: Qualquer perturbação nos blocos após o assentamento podem resultar na ruptura da aderência entre os tijolos e argamassa. Estas perturbações geralmente ocorrem ao se procurar corrigir erros de nível ou prumo de um bloco após o assentamento;

- c) tempo de espera excessivo: O tempo de espera corresponde ao período que transcorre desde o momento em que a argamassa foi espalhada sobre a fiada até o momento da colocação dos blocos da fiada superior. O espalhamento da argamassa por vários metros ao longo de uma fiada para posterior assentamento dos blocos, faz com que a argamassa permaneça em espera por um tempo excessivo e, em função disto, perca a plasticidade necessária para uma adequada aderência. Dependendo das condições climáticas, da capacidade de retenção de água e da sucção inicial do substrato, pode haver perda total de aderência;
- d) emprego de argamassa em processo de hidratação: o intervalo de tempo entre a mistura do cimento e o espalhamento na fiada necessariamente deve ser inferior ao intervalo de tempo após o qual inicia-se o processo de hidratação, caso contrário, pode haver comprometimento da aderência.

Quanto às condições de cura, Jaworoski (1990, p. 57) ressalta que condições inapropriadas comprometem a alvenaria, podendo acarretar, em casos extremos, a perda total da aderência. Em geral, a cura inapropriada está associada à evaporação rápida da umidade da argamassa, devido a correntes de ar, temperatura ambiente, umidade relativa do ar e insolação direta. A evaporação rápida inibe a correta hidratação do cimento e provoca uma prematura retração da argamassa, sendo que, em ambos os casos, estes fatores podem comprometer a aderência.

3.3.2.2.3 Permeabilidade

A permeabilidade, consoante Cincotto et alli (1995, p. 38) é a propriedade que caracteriza a passagem da água através de um material, componente ou elemento de construção, por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou por difusão de vapor d'água.

Com relação à infiltração por capilaridade, Selmo (1989 apud BIANCHIN, 1999, p. 60), concluiu que a absorção capilar tende a aumentar com o teor de cal, com o teor de agregado, com a relação água/cimento e é influenciada, também, pelas características da base. Salienta, ainda, que a capilaridade depende da estrutura interna do revestimento.

De acordo com Bianchin (1999, p. 60), existem alguns fatores que influenciam a absorção d'água:

- a) teor de finos da areia, principalmente os finos argilosos: em virtude do aumento da superfície específica, aumentam a absorção da água da argamassa, tornando-a mais permeável;
- b) teor de cal: a argamassa com cal, tendo em vista a maior superfície específica da cal, absorve mais água em relação à argamassa de cimento;
- c) teor de cimento: a capilaridade das argamassas diminui com o aumento do teor de cimento.

A permeabilidade do revestimento, segundo Cincotto et alli (1995, p. 38) também depende das características da base. Entretanto alguns fatores influenciam a permeabilidade de modo bastante significativo, tais como, a granulometria do agregado, a natureza e o teor do aglomerante. Em geral, as argamassas de cimento são menos permeáveis, diminuindo a permeabilidade com o aumento do teor de cimento. A permeabilidade é diretamente proporcional à relação água/aglomerante e inversamente proporcional à resistência da pasta aglomerante.

3.3.2.2.4 Retração na secagem

Conforme Cincotto et alli (1995, p. 35) dentre as propriedades da argamassa no estado endurecido, a retração possui papel fundamental no desempenho do revestimento, no que tange a estanqueidade e durabilidade.

Estes mesmos autores, relatam que a retração é resultado de um mecanismo complexo, relacionado ao processo de variação na umidade da pasta aglomerante. Ao ser aplicada, a argamassa perde água de amassamento para a base, por efeito de sucção, o qual é tanto mais acentuado quanto mais porosos forem os componentes da base. Outros fatores exercem influência sobre a retração, entre os quais, condições de temperatura, incidência solar, umidade relativa e velocidade do ar.

Segundo Bianchin (1999, p. 55) esta perda de água provoca movimentações reversíveis ou irreversíveis. Os movimentos reversíveis originam-se quando parte da água de amassamento é absorvida pela base através da sucção. Por outro lado, os movimentos irreversíveis são resultantes da evaporação da água de amassamento e das reações químicas que ocorrem na

hidratação do cimento e da carbonatação dos hidróxidos de cálcio e magnésio. Neste aspecto, Sabbatini (1984, p. 92) descreve que a maior parcela do gradiente total de retração irreversível é devido a evaporação de água de amassamento, também chamada de retração por acomodação.

A figura 24 ilustra os movimentos de água reversíveis e irreversíveis no concreto, que apresenta comportamento análogo para os revestimentos com argamassa a base de cimento.

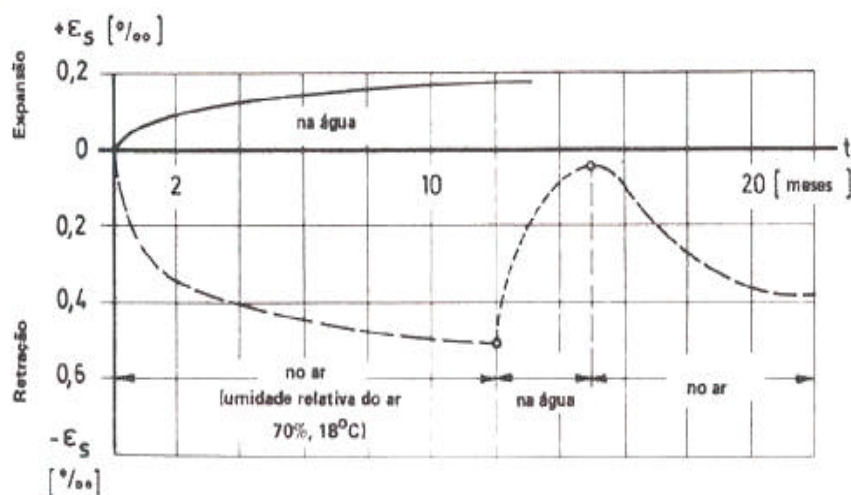


Figura 24: ilustração de movimentos de retração e expansão no concreto (LEONHARDT, 1977, p. 24)

O mecanismo de retração, de acordo com Cincotto et alli (1995, p. 35) consiste na variação de volume que ocorre na argamassa devido à remoção da água retida pelas forças superficiais do gel da pasta aglomerante (água absorvida) e da água retida entre as superfícies dos cristais (água intersticial ou zeolítica), durante o processo de secagem.

Sabbatini (1984, p. 92) descreve os fatores que possuem influência sobre a retração. Segundo este autor, os principais são:

- a) granulometria do agregado: A granulometria do agregado determina o volume de vazios a ser preenchido. Quanto mais elevado for este volume maior será o teor de pasta necessário, elevando-se o potencial de retração da argamassa. Desta forma, deve-se empregar uma areia com a granulometria que possibilite uma estrutura compacta e que tenha a menor superfície específica. Inúmeros pesquisadores têm

demonstrado que a areia que melhor preenche estes requisitos são as que possuem maior massa unitária;

- b) teor de água da argamassa: influencia a retração na medida em que, aumentando-se a quantidade de água, o volume de agregado será reduzido e o volume de pasta aumentado, elevando-se o potencial de retração;
- c) teor de aglomerantes: determinam a retração por hidratação e por carbonatação, as quais se relacionam aos processos de endurecimento da pasta aglomerante. Embora sejam poucos os estudos comparativos entre as argamassas para análise de influência do teor de aglomerante, observa-se que o aumento do teor de cimento eleva o potencial de retração da argamassa, sendo responsável pelo aumento da retração por hidratação, significativamente superior à retração por carbonatação;
- d) condições ambientais: as condições sobre as quais desenvolve-se a cura da argamassa tem influência sobre a retração, na medida que controlam a velocidade de evaporação da água. A retração por evaporação é tanto maior quanto maior for a temperatura ambiente e a velocidade de circulação do ar e quanto menor for a umidade relativa do ar. Com a progressão das reações químicas de endurecimento obtém-se um esqueleto sólido que progressivamente torna-se resistente à retração por evaporação da água inter-granular. Se for acelerada a evaporação, em função das condições ambientais desfavoráveis, ocorrerá uma perda substancial do volume de água antes da formação de uma estrutura resistente e, deste modo, a retração volumétrica será maior do que na situação de evaporação controlada.

4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE PAREDES UTILIZADOS NA PESQUISA EXPERIMENTAL

Existem vários métodos de ensaio para avaliação de estanqueidade à água em paredes. Entre os institutos de pesquisa nacionais, destacam-se dois métodos preconizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT; o método do cachimbo, exposto por Polisseni (1986) em dissertação de mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; o método desenvolvido na UFRGS, por Bauer (1987), em dissertação de mestrado e, por fim, o método criado na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul – CIENTEC.

Em nível internacional, destacam-se os métodos de avaliação produzidos pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* – CSTB; o método de ensaio desenvolvido pela *British Standards Institution* – BSI; o método preconizado pela *American Society for Testing and Materials* – ASTM e, ainda, o método de ensaio produzido pela *Building Research Institute* – BRI.

No presente estudo, as avaliações da estanqueidade dos corpos de prova foram efetuadas através de três ensaios, quais sejam: o método do cachimbo, o ensaio para verificação *in situ* da permeabilidade à água de fachadas e divisórias preconizado pelo IPT e o método para a determinação da estanqueidade à água empregado na CIENTEC. O motivo da escolha destes métodos baseou-se, principalmente quanto aos dois primeiros métodos citados, em função de sua fácil execução e baixo custo. Quanto ao método da CIENTEC, este foi escolhido tendo em vista a disponibilidade dos equipamentos necessários para a realização do ensaio.

4.1 MÉTODO DO CACHIMBO

4.1.1 Objetivos e aplicações

O *Centre Scientifique et Technique de la Construction* – CSTC é o instituto de informação e pesquisa científica aplicada para o setor da construção civil belga. É financiado por empresas construtoras, subsídios e por meio da venda de publicações e prestação de serviços, atuando nas áreas de pesquisa, desenvolvimento e inovação e informação. O objetivo do método, idealizado por este instituto é a determinação em laboratório ou *in loco* da avaliação da capacidade impermeabilizante ou de repelência à água de um revestimento de parede, medida através de sua capacidade de absorção d'água.

A medida da absorção d'água de um revestimento é realizada sobre uma pressão de água inicial de 92 mm, correspondente a ação estática de um vento com velocidade de aproximadamente 140 km/h, calculada por intermédio da equação 5, onde a altura da coluna d'água corresponde a pressão exercida por esta coluna (1 mm de coluna de água corresponde a 10 Pa).

$$Q = 0,625 \cdot v^2 \quad (\text{equação 5})$$

onde:

Q = pressão estática do vento (Pa);

v = velocidade do vento (m/s).

As principais aplicações do método do cachimbo são:

- a) avaliação da capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede, comparando resultados de ensaios obtidos no laboratório e no canteiro de obras;

- b) avaliação da durabilidade dos revestimentos de parede relacionado com a sua capacidade impermeabilizante;
- c) comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante entre produtos de revestimentos de parede existentes no mercado.

4.1.2 Aparelhagem

A aparelhagem utilizada no Método do Cachimbo consta de:

- a) um cachimbo de vidro, confeccionado conforme recomendações do *Centre Scientifique et Technique de la Construction* – CSTC, com volume de água de $4,00 \text{ cm}^3$ (figura 25);
- b) uma pisseta plástica com capacidade de 500 ml;
- c) um cronômetro.

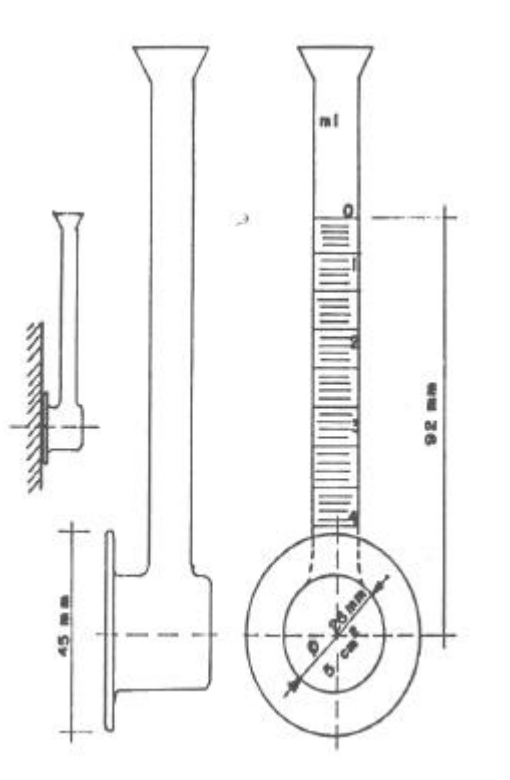


Figura 25: cachimbo de vidro conforme especificação do *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (CSTC, 1982)

Existe, por fim, a necessidade de se utilizar uma quantidade de mastique, com o objetivo de fixar o cachimbo de vidro à parede. Uma peculiaridade com relação ao mastique é que ele não endureça e nem fique aderido à parede ou ao cachimbo de vidro, após o término do ensaio.

4.1.3 Procedimentos para a realização do ensaio

A realização do ensaio de absorção d'água de uma parede pelo Método do Cachimbo, adaptado por Polisseni (1986), passa pelas seguintes etapas (figuras 26 e 27):

- a) modelar com as mãos uma porção do mastique (forma aproximadamente cilíndrica) e envolver o bordo do cachimbo de vidro;
- b) fixar o cachimbo de vidro na parede revestida, comprimindo-o contra a mesma;
- c) com o auxílio da pisseta plástica, encher o cachimbo com água potável até a referência do nível zero;
- d) com o auxílio do cronômetro, efetuar e registrar as leituras da diminuição do nível de água após os tempos de 5, 10 e 15 minutos.

Cabem, ao final, salientar as seguintes observações:

- a) as leituras são efetuadas em cm^3 ou ml;
- b) para a fixação do cachimbo de vidro à parede, o mastique comercial que melhor se adaptou às exigências do método de ensaio foi a massa de calafetar;
- c) para se obter uma boa análise estatística dos dados, o número mínimo da amostragem deve ser de 30 ensaios.



Figura 26: avaliação de estanqueidade pelo método do cachimbo –
vista lateral



Figura 27: avaliação de estanqueidade pelo método do cachimbo –
vista frontal

4.2 MÉTODO DE AVALIAÇÃO *IN SITU* DA PERMEABILIDADE À ÁGUA DE FACHADAS E DIVISÓRIAS

4.2.1 Objetivos e aplicações

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, ligado à Secretaria da Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento Econômico e Turismo do Estado de São Paulo, atua nas áreas de inovação, pesquisa e desenvolvimento; serviços tecnológicos e desenvolvimento e apoio metrológico. O método projetado pelo instituto, específico para ensaios *in loco*, tem como objetivo a verificação da permeabilidade à água de fachadas externas e divisórias. Consiste em submeter um trecho de fachada ou divisória à presença da água, com pressão constante, por meio de uma câmara acoplada à parede.

4.2.2 Aparelhagem

A aparelhagem utilizada para a execução do método consta de:

- a) câmara no formato de caixa, com dimensões internas da boca de 16 cm e 34 cm, contendo no seu perímetro uma moldura para acoplamento com a parede, conforme figura 28;
- b) bureta graduada em cm^3 , para manutenção da pressão constante no interior da câmara e para medida do volume de água infiltrado na parede. A bureta é emborcada na câmara de tal forma que sua boca tangencie o nível da água no seu interior. Caso haja infiltração de água na parede, o mesmo volume de água infiltrada será repostado pela água contida na bureta, mantendo-se constante o nível de água no interior da câmara e permitindo a quantificação da água infiltrada.

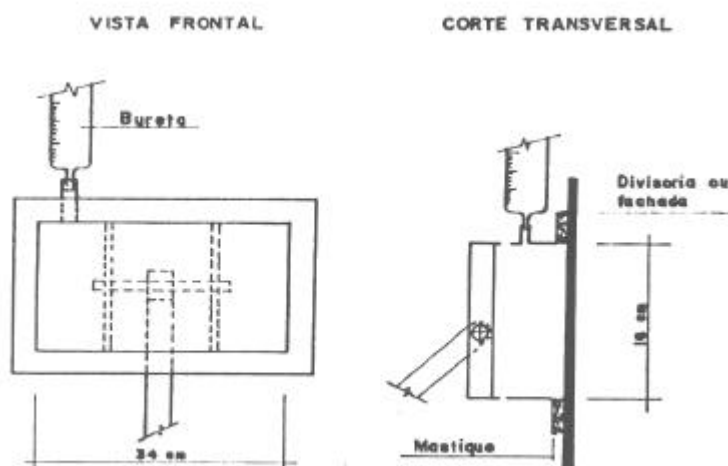


Figura 28: câmara para ensaio de permeabilidade *in situ* de paredes (IPT, 1998, p. 31)

4.2.3 Procedimentos para a realização do ensaio

A realização do ensaio de uma parede pelo Método do IPT (figuras 29 e 30) passa pelas fases seguintes:

- a) acoplar a câmara de ensaio na região desejada da parede, selando-se suas bordas com mastique ou outro material;
- b) preencher a câmara e a bureta com água; registrar o nível inicial da água;
- c) registrar o nível da água na bureta após os seguintes períodos: meia hora, uma hora, duas horas, quatro horas, seis horas e vinte e quatro horas;
- d) para cada um dos períodos acima determinados, registrar o volume de água infiltrado, obtido pela diferença entre o nível de cada período e o nível inicial da água contida na bureta.



Figura 29: ensaio de permeabilidade - método do IPT

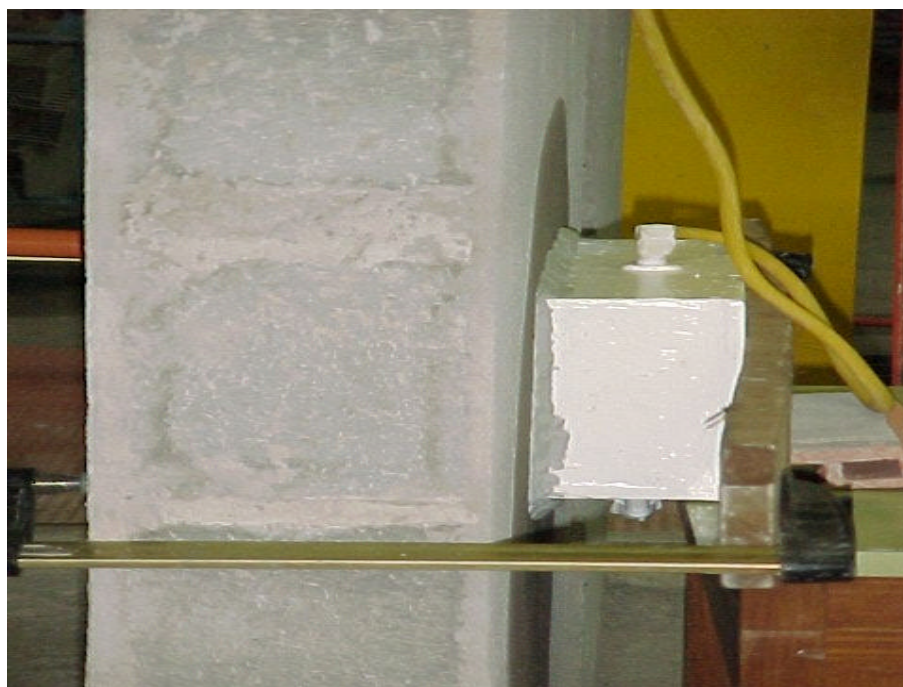


Figura 30: vista do acoplamento da câmara de ensaio à parede – método do IPT

4.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE À ÁGUA EMPREGADO PELA FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CIENTEC

4.3.1 Objetivos e aplicações

O método empregado pela Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, que trata-se de uma fundação de direito público ligada à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, atuando como laboratório oficial do Estado, tem como objetivo verificar a estanqueidade à água de superfícies em alvenaria. Este método foi preconizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em trabalho efetuado por Bauer (1987), sendo posteriormente adotado pela CIENTEC. Foi uma adaptação de métodos consagrados e normalizados a nível mundial e utilizados no *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB*, *British Standards Institution - BSI*, *American Society for Testing and Materials - ASTM* e *Building Research Institute - BRI*. Consiste na simulação de chuva sobre a superfície externa da alvenaria, por meio de uma câmara de ensaios, criando-se uma película de água homogênea e contínua sobre o corpo de prova e aplicando-se, simultaneamente, pressão pneumática sobre esta superfície.

4.3.2 Aparelhagem

O equipamento necessário para o ensaio é constituído por:

- a) câmara metálica de formato prismático e estanque (figura 31), com: abertura frontal de 90 cm x 110 cm; orifício para alimentação e recolhimento de água; orifício para entrada de ar; manômetro e hidrômetro;
- b) ventoinha para produção de ar;
- c) compressor para movimentação de água;
- d) reservatório de água com capacidade para 1000 litros;

e) mangueiras.



Figura 31: câmara para ensaio de permeabilidade de paredes – método da CIENTEC

A câmara de ensaio deve ser fixada à face externa do corpo de prova através de grampos metálicos (sargentos), evitando vazamentos na interface. Se, após a fixação da câmara, forem observados afastamentos entre ela e o corpo de prova, os quais permitam a passagem de ar e água, preencher com material plástico próprio para calafetação.

4.3.3 Procedimentos para realização do ensaio

Durante a execução do ensaio, deve-se observar os tempos de leitura estabelecidos. Anota-se o tempo de surgimento da primeira mancha, demarcando a área sobre a face de observação do corpo de prova. Após, marcar o aumento das manchas de umidade surgidas no corpo de prova, com lápis de cera colorido, a cada leitura, fotografando a face de observação do corpo de prova, a cada leitura.

A realização do ensaio de uma parede de acordo com o método implantado pela CIENTEC é dividido em duas etapas.

Na etapa I é realizada a aplicação de um filme de água sobre a superfície do corpo-de-prova, sem aplicação de pressão. A duração desta fase é de duas horas e meia e a vazão de água deve ser suficiente para que seja criado um filme de água sobre a superfície ensaiada.

Por ocasião da etapa II é efetuada a aplicação de um filme de água sobre a superfície do corpo-de-prova, simultaneamente à pressão estática do ar. A duração desta fase é de duas horas e a vazão de água de 3,0 l/min, com pressão de 260 Pa, ou 2,60 cm de coluna d'água. Uma ressalva importante refere-se ao fato de que os valores acima mencionados são válidos para o município de Porto Alegre e devem ser alterados em função das condições de exposição em cada região.

A avaliação é efetuada através da observação da face oposta à incidência de água e pressão e marcação das manchas de umidade nos respectivos tempos de leitura, conforme já relatado. Adota-se realizar as leituras nos tempos de 5, 15, 30, 60, 90, 120 e 150 minutos na primeira etapa e nos tempos de 5, 15, 30, 60, 90 e 120 minutos na segunda etapa.

5 MATERIAIS E MÉTODOS DE ENSAIO

5.1 TIPOLOGIA DAS PAREDES ENSAIADAS

Os testes de estanqueidade foram realizados em seis corpos de prova, sendo que três corpos de prova foram executados em blocos de concreto e três corpos de prova em blocos cerâmicos. As dimensões destas paredes eram de 120 x 160 x 14 centímetros (largura, altura e espessura, respectivamente), conforme ilustrado na figura 32. A escolha por estes tipos de unidades fundamentou-se na observação do mercado da construção civil. Estudo realizado por Santos (1998, p. 32), junto a vinte e oito obras em fase de execução nos Estados de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, verificou a utilização de unidades cerâmicas ou de concreto em todas as obras. Ademais, em virtude de existirem fabricantes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto instalados no Rio Grande do Sul, que produzem unidades com alta tecnologia agregada ao processo de fabricação, optou-se por realizar este trabalho utilizando blocos cerâmicos e blocos de concreto.



Figura 32: corpos de prova ensaiados

Foram executados três métodos de ensaios de avaliação de estanqueidade à água em cada corpo de prova. Na primeira etapa, os ensaios foram executados em paredes não revestidas e, posteriormente, na etapa seguinte, foram avaliados as paredes com revestimento, totalizando 36 ensaios.

As paredes foram construídas representando quatro diferentes condições. Deste modo, as variáveis em estudo foram o tipo de unidade utilizada na execução dos corpos-de-prova e a existência, ou não, da camada de revestimento nos painéis de alvenaria ensaiados. Assim, temos as situações descritas a seguir:

- a) bloco cerâmico assentado com juntas horizontais e verticais preenchidas, sem revestimento;
- b) bloco cerâmico assentado com juntas horizontais e verticais preenchidas, com revestimento;
- c) bloco de concreto assentado com juntas horizontais e verticais preenchidas, sem revestimento;
- d) bloco de concreto assentado com juntas horizontais e verticais preenchidas, com revestimento.

Com relação à argamassa utilizada, é de reconhecimento internacional de que as proporções ideais de seus constituintes devem ser em torno de 1:3 (aglomerante : agregado), em volume. Segundo a BS 5628 parte 1 (1992), com tal proporção, a pasta de cal e cimento preenche totalmente os vazios existentes entre os grãos do aglomerado. Esta recomendação também é análoga entre os norte-americanos. Assim sendo, a recomendação de traços em volume indicados por estas normas está descrita no quadro 7 a seguir .

Traços em volume			
Tipo	Cimento	Cal	Areia
M	1	0,25	3,5
S	1	0,5	4,5
N	1	1	6
O	1	2	9
K	1	3	12

Quadro 7: traços de argamassas recomendados (BRITISH STANDARDS, 1992)

Com relação ao quadro acima, o volume de areia recomendado refere-se a areia seca. Da mesma forma, o volume é referente à pasta de cal. Caso seja utilizada cal hidratada, o volume de cal deve ser acrescido em 50% para fins de trabalhabilidade adequada.

Recomenda-se a aplicação da argamassa tipo M na execução de muros de arrimo e alvenaria impermeável a percolação de água. Já para as alvenarias de fundações e paredes externas revestidas, utiliza-se o traço N. O traço O é utilizado em paredes externas não revestidas enquanto que a argamassa do tipo K é utilizada em paredes internas e paredes sem função estrutural.

A decisão quanto ao traço de argamassa a ser utilizado nos ensaios obedeceu a alguns critérios. O primeiro deles considerou a recomendação aceita em âmbito técnico e acadêmico, de que a proporção aglomerante : agregado deve ser em torno de 1:3, em volume.

Da mesma forma, outro critério ponderado era de que tanto a argamassa de assentamento, quanto a argamassa de revestimento, deveriam possuir o mesmo traço pois, do contrário, o traço da argamassa seria outra variável interveniente nos ensaios realizados e este não era o objetivo do presente estudo. Salienta-se, porém, que atualmente a realidade do mercado aponta para a utilização de argamassas com traço 1:3 para assentamento e traço 1:2:9 para revestimento em alvenarias.

Ainda, o traço da argamassa necessariamente precisava lograr de bom desempenho para ser utilizada no assentamento das unidades de alvenaria, bem como, para ser usada como revestimento dos painéis.

Por fim, a escolha baseada nos critérios supra mencionados, recaiu sobre a argamassa com traço 1:1:6 (cimento:cal:areia média, em volume) com trabalhabilidade definida pela própria mão-de-obra executora dos painéis de alvenaria. A definição deste traço de argamassa foi motivada, primeiramente, em função de possuir a relação 1:3 recomendada. Além disto, Dubaj (2000, p. 88) em sua dissertação de mestrado, analisou vários traços de argamassas de revestimento utilizados na região de Porto Alegre e concluiu que a argamassa com traço 1:1:6 apresentou o melhor desempenho no conjunto das propriedades ensaiadas, quais sejam, consistência, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral; módulo de deformação estática; retração por secagem; resistência de aderência à tração por arrancamento; resistência de aderência ao cisalhamento e absorção de água.

Complementando a questão, Duarte (1999, p. 53) e Gallegos (1989, p. 175), ressaltam que as argamassas com traço 1:1:6 são adequadas tanto para assentamento de alvenaria estrutural como para alvenaria de vedação.

Procurou-se, também, executar uma junta de argamassa de assentamento uniforme, com um centímetro de espessura. Isto se deve, primeiramente, em virtude da modulação das unidades de alvenaria utilizadas, que requerem o uso de argamassa de assentamento com esta espessura. Entretanto, o fator principal relaciona-se com estudos acadêmicos que demonstram ser esta a espessura de junta ideal para assentamento das unidades de alvenaria.

Quanto ao revestimento, em cada parede as condições foram as seguintes:

- a) sem revestimento;
- b) revestimento de argamassa de 1,5 cm em uma das faces, representando o lado externo do painel de alvenaria e de 1,0 cm na outra face, representando o lado interno do painel de alvenaria.

Com relação ao revestimento, embora a NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998) estabeleça uma espessura mínima de 2,0 cm para revestimento de paredes externas, para garantia da durabilidade da alvenaria ao longo do tempo, a utilização de um revestimento externo com 1,5 cm de espessura, neste estudo, comprovou ser eficaz com relação a estanqueidade de alvenarias constituídas por blocos cerâmicos e por blocos de concreto.

Entretanto, antes de executar o revestimento, as paredes foram chapiscadas com cimento e areia de granulometria grossa, com traço 1:3 em volume.

Os corpos-de-prova em alvenaria foram elaborados pela mesma mão-de-obra, de maneira que a sua variabilidade não constituísse um interveniente que pudesse refletir, de modo negativo, nos resultados dos ensaios efetuados.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES

Foram realizados ensaios de caracterização das unidades de alvenaria - blocos cerâmicos e blocos de concreto - com relação à absorção total de umidade, absorção inicial de umidade e resistência à compressão. Foi tomado o cuidado de se verificar que tanto os blocos cerâmicos, quanto os blocos de concreto, pertencessem a um mesmo lote de fabricação.

5.2.1 Bloco cerâmico

Comparando os resultados dos ensaios com os valores previstos em norma, pode-se observar que a absorção da água dos blocos cerâmicos encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7171 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) de no mínimo 8% até o limite máximo de 25% de absorção de água. Entretanto, com relação à absorção inicial de umidade, os valores obtidos nos ensaios encontram-se acima dos previstos na bibliografia existente sobre o assunto, que aconselha uma taxa de absorção inicial de umidade máxima em torno de $30\text{g}/193\text{cm}^2/\text{min}$. Os valores obtidos encontram-se descritos nas tabelas 5 à 7.

Tabela 5: resultados dos ensaios de absorção de água - blocos cerâmicos

Bloco (n°)	Dimensões (mm)			Absorção (%)
	L	H	C	
01	140	190	290	13,8
02	140	190	292	14,1
03	140	192	292	14,0
04	140	190	292	13,9
05	140	192	292	14,0
06	140	192	289	14,0
07	140	191	290	13,6
08	141	192	292	13,8
09	140	192	291	13,8
10	140	192	290	14,1
Média				13,91
Desvio padrão				0,16
C. V. (%)				1,15

Tabela 6: resultados dos ensaios de absorção inicial de água - blocos cerâmicos

Bloco (n°)	Sucção (g/193 cm ² /min)
01	71,06
02	74,72
03	55,08
04	76,85
05	63,56
Média	68,25
Desvio Padrão	8,93
C. V. (%)	13,08

Tabela 7: resultados dos ensaios de resistência à compressão - blocos cerâmicos

Bloco (n°)	Dimensões (mm)			Carga Máxima (kN)	Limite de resistência (MPa)
	L	H	C		
01	142	192	290	476,00	11,6
02	140	192	290	408,40	10,0
03	142	192	290	441,30	10,7
04	142	192	290	283,10	6,87
05	140	190	290	441,30	10,0
Média					9,83
Desvio padrão					1,78
C. V. (%)					18,11

5.2.2 Bloco de concreto

Comparando os resultados dos ensaios com os valores previstos em norma, a absorção da água dos blocos de concreto encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994) de no máximo 10% de absorção de água. Entretanto, com relação à absorção inicial de umidade, os valores obtidos nos ensaios encontram-se acima dos previstos na bibliografia pertinente ao assunto, que aconselha uma taxa de absorção inicial de umidade máxima em torno de $30\text{g}/193\text{cm}^2/\text{min}$. Os valores obtidos encontram-se descritos nas tabelas 8 à 10.

Tabela 8: resultados dos ensaios de absorção de água - blocos de concreto

Bloco (n°)	Dimensões (mm)			Absorção (%)
	L	H	C	
01	141,0	189,0	390,5	4,43
02	140,5	188,5	390,0	4,43
03	140,5	187,5	392,0	4,93
04	140,5	188,5	390,0	4,94
05	140,0	187,0	390,5	5,02
06	141,0	188,5	390,5	4,79
07	141,0	188,5	390,5	4,99
08	140,0	190,0	389,0	4,92
09	140,5	188,5	390,0	5,10
10	140,5	188,5	390,0	5,01
Média				4,86
Desvio padrão				0,24
C. V. (%)				4,91

Tabela 9: resultados dos ensaios de absorção inicial de água - blocos de concreto

Bloco (n°)	Sucção ($\text{g}/193\text{ cm}^2/\text{min}$)
01	41,48
02	41,11
03	53,12
04	50,01
05	44,62
Média	46,07
Desvio padrão	5,32
C. V. (%)	11,54

Tabela 10: resultados dos ensaios de resistência à compressão - blocos de concreto

Bloco (nº)	Dimensões (mm)			Carga Máxima (kN)	Limite de resistência (MPa)
	L	H	C		
01	140,0	188,5	390,0	752,70	13,8
02	141,5	189,5	390,5	793,10	14,4
03	141,0	190,0	390,0	969,90	17,6
04	140,0	185,5	390,0	943,20	17,3
05	140,5	188,5	390,0	969,90	17,7
Média					16,16
Desvio padrão					1,90
C. V. (%)					11,74

6 RESULTADOS DOS ENSAIOS

6.1 MÉTODO DO CACHIMBO - RESULTADOS

6.1.1 Bloco cerâmico sem revestimento

Quando da realização do ensaio pelo método do cachimbo em blocos cerâmicos sem revestimento, a estanqueidade nos corpos de prova foi avaliada em trinta pontos, escolhidos de forma aleatória, sendo dez pontos para cada corpo de prova. Avaliou-se a estanqueidade junto ao corpo das unidades de alvenaria, nas juntas horizontais e nas juntas verticais.

Deste modo, os resultados encontrados estão expostos a seguir, nas tabelas 11, 12 e 13, bem como, através do gráfico da figura 33.

Tabela 11: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - juntas verticais dos blocos cerâmicos - sem revestimento (ml)

Corpo de prova 2				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	1,00	1,70	2,40
Ponto 02	0,00	1,90	3,10	> 4,00
Ponto 03	0,00	2,15	3,20	> 4,00
Ponto 04	0,00	1,70	3,00	4,00
Ponto 05	0,00	1,60	2,80	3,80
Ponto 06	0,00	2,80	> 4,00	> 4,00
Ponto 07	0,00	1,80	3,00	> 4,00
Ponto 08	0,00	1,60	2,80	3,80
Ponto 09	0,00	1,00	1,90	2,70
Ponto 10	0,00	1,10	1,90	2,60
Média		1,67	-	-
Desvio padrão		0,56	-	-
C. V. (%)		33,53	-	-

Tabela 12: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - juntas horizontais dos blocos cerâmicos - sem revestimento (ml)

Corpo de prova 4				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 02	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 03	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 04	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 05	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 06	0,00	4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 07	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 08	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 09	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 10	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Média		-	-	-
Desvio padrão		-	-	-
C. V. (%)		-	-	-

Com relação a este ensaio, cabe uma ressalva quanto aos resultados obtidos, uma vez que nas juntas horizontais dos blocos cerâmicos, houve absorção de 4,0 ml de água no período compreendido entre o início do ensaio e os primeiros cinco minutos, em todos os pontos ensaiados.

Tabela 13: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo – corpo dos blocos cerâmicos - sem revestimento (ml)

Corpo de prova 6				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	1,00	1,60	2,20
Ponto 02	0,00	0,90	1,40	2,00
Ponto 03	0,00	0,95	1,60	2,20
Ponto 04	0,00	0,80	1,40	2,00
Ponto 05	0,00	0,80	1,25	1,60
Ponto 06	0,00	0,60	1,00	1,40
Ponto 07	0,00	0,80	1,40	2,00
Ponto 08	0,00	0,60	1,10	1,50
Ponto 09	0,00	1,00	1,70	2,35
Ponto 10	0,00	0,55	0,90	1,20
Média		0,80	1,34	1,85
Desvio padrão		0,17	0,27	0,39
C. V. (%)		21,25	20,15	21,08

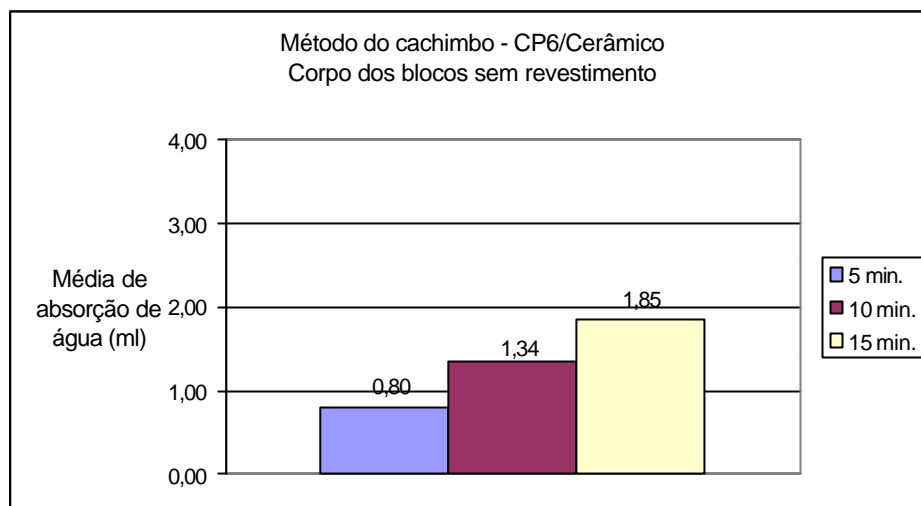


Figura 33: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - corpo dos blocos cerâmicos

6.1.2 Bloco de concreto sem revestimento

Por ocasião da realização do ensaio pelo método do cachimbo em blocos de concreto sem revestimento, o grau de estanqueidade nos corpos de prova foi avaliado em trinta pontos, escolhidos de forma aleatória, sendo dez pontos para cada corpo de prova. Procurou-se avaliar, assim como nos blocos cerâmicos, a estanqueidade junto ao corpo das unidades de alvenaria, nas juntas horizontais e nas juntas verticais.

Assim, os resultados encontrados estão expostos a seguir, nas tabelas 14 à 16, bem como, através do gráfico da figura 34.

Quanto a este ensaio, salienta-se que nos resultados obtidos junto ao corpo dos blocos de concreto, houve absorção de 4,0 ml de água no período compreendido entre o início do ensaio e os primeiros cinco minutos, em todos os pontos ensaiados.

Ainda neste aspecto, tal fato já havia sido verificado por Polisseni (1986, p. 106) quando da avaliação de blocos de concreto através do método do cachimbo, onde "observou-se que os 4 cm³ de água levaram menos de 6 segundos para serem absorvidos pela parede".

Tabela 14: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - juntas verticais dos blocos de concreto - sem revestimento (ml)

Corpo de prova 1				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	0,80	1,40	1,90
Ponto 02	0,00	0,90	1,60	2,20
Ponto 03	0,00	0,70	1,20	1,50
Ponto 04	0,00	0,40	0,70	0,90
Ponto 05	0,00	0,35	0,60	0,80
Ponto 06	0,00	0,50	0,85	1,20
Ponto 07	0,00	0,70	1,25	1,70
Ponto 08	0,00	0,70	1,10	1,40
Ponto 09	0,00	0,60	0,95	1,30
Ponto 10	0,00	0,60	1,00	1,35
Média		0,63	1,07	1,43
Desvio padrão		0,17	0,31	0,43
C. V. (%)		26,98	28,97	30,01

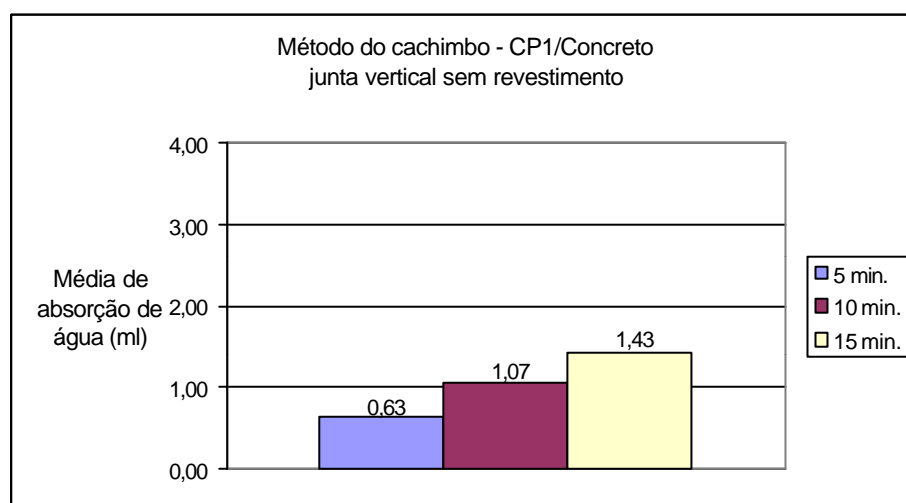


Figura 34: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - juntas verticais dos blocos de concreto

Tabela 15: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - juntas horizontais dos blocos de concreto - sem revestimento (ml)

Corpo de prova 3				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	0,80	1,20	1,70
Ponto 02	0,00	2,40	3,30	4,00
Ponto 03	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 04	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 05	0,00	1,20	1,90	2,50
Ponto 06	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 07	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 08	0,00	2,50	4,00	> 4,00
Ponto 09	0,00	0,50	0,90	1,20
Ponto 10	0,00	3,70	> 4,00	> 4,00
Média		-	-	-
Desvio padrão		-	-	-
C. V. (%)		-	-	-

Tabela 16: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - corpo dos blocos de concreto - sem revestimento (ml)

Corpo de prova 5				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 02	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 03	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 04	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 05	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 06	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 07	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 08	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 09	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 10	0,00	> 4,00	> 4,00	> 4,00
Média		-	-	-
Desvio padrão		-	-	-
C. V. (%)		-	-	-

6.1.3 Bloco cerâmico com revestimento

Quando da execução do ensaio pelo método do cachimbo em blocos cerâmicos com revestimento, o grau de estanqueidade nos corpos de prova foi avaliado em trinta pontos, arbitrados aleatoriamente, sendo dez pontos para cada corpo de prova.

Deste modo, os resultados encontrados estão expostos a seguir, nas tabelas 17 à 19, bem como, através dos gráficos das figuras 35 e 36.

Tabela 17: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 2 (ml)

Corpo de prova 2				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	2,00	3,10	> 4,00
Ponto 02	0,00	3,00	> 4,00	> 4,00
Ponto 03	0,00	1,30	2,40	3,30
Ponto 04	0,00	1,20	2,00	2,80
Ponto 05	0,00	3,30	> 4,00	> 4,00
Ponto 06	0,00	1,00	1,70	2,40
Ponto 07	0,00	0,50	0,90	1,20
Ponto 08	0,00	0,60	1,10	1,60
Ponto 09	0,00	0,50	0,80	1,10
Ponto 10	0,00	3,50	> 4,00	> 4,00
Média		1,69	-	-
Desvio padrão		1,18	-	-
C. V. (%)		69,82	-	-

Tabela 18: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 4 (ml)

Corpo de prova 4				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	0,40	0,60	0,80
Ponto 02	0,00	0,30	0,40	0,50
Ponto 03	0,00	0,20	0,30	0,40
Ponto 04	0,00	0,20	0,30	0,30
Ponto 05	0,00	0,60	1,10	1,40
Ponto 06	0,00	0,40	0,70	1,00
Ponto 07	0,00	0,20	0,20	0,20
Ponto 08	0,00	0,40	0,50	0,70
Ponto 09	0,00	0,30	0,40	0,60
Ponto 10	0,00	0,20	0,40	0,50
Média		0,32	0,49	0,64
Desvio padrão		0,13	0,26	0,36
C. V. (%)		40,63	53,06	56,25

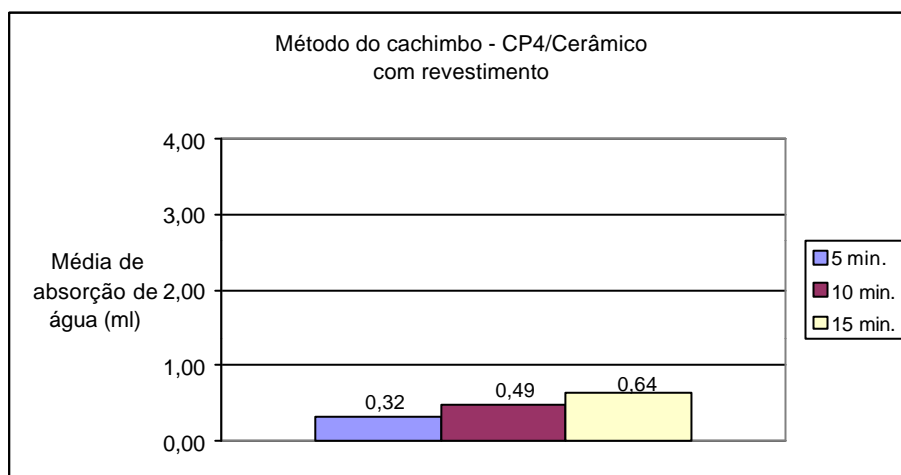


Figura 35: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 4

Tabela 19: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 6 (ml)

Corpo de prova 6				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	0,90	1,40	2,00
Ponto 02	0,00	1,20	2,20	3,20
Ponto 03	0,00	0,80	1,50	2,20
Ponto 04	0,00	0,60	1,00	1,40
Ponto 05	0,00	1,30	2,30	3,20
Ponto 06	0,00	0,70	1,20	1,70
Ponto 07	0,00	0,70	1,20	1,70
Ponto 08	0,00	0,50	0,90	1,30
Ponto 09	0,00	0,60	0,90	1,20
Ponto 10	0,00	0,40	0,60	0,80
Média		0,77	1,32	1,87
Desvio padrão		0,29	0,56	0,81
C. V. (%)		37,66	42,42	43,31

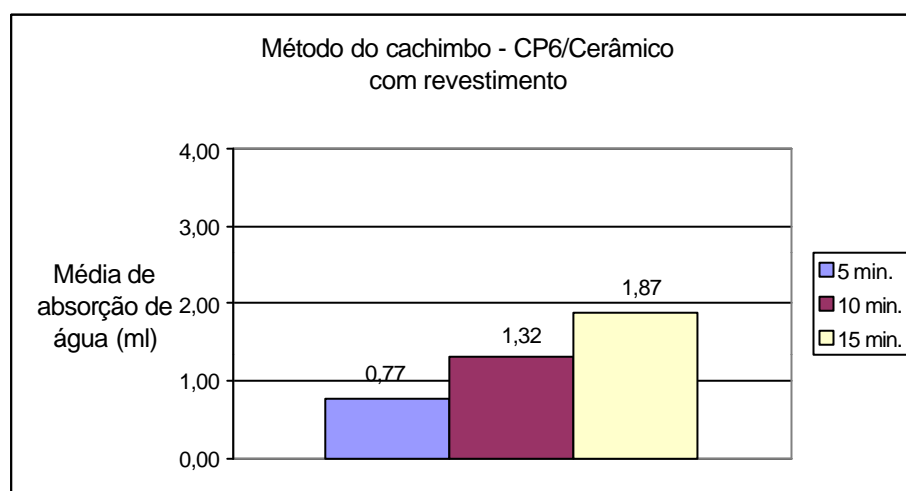


Figura 36: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco cerâmico com revestimento - corpo de prova 6

6.1.4 Bloco de concreto com revestimento

Quando da execução do ensaio pelo método do cachimbo em blocos de concreto com revestimento, o grau de estanqueidade nos corpos de prova foi avaliado em trinta pontos, escolhidos de forma aleatória, sendo dez pontos para cada corpo de prova.

Assim sendo, os resultados encontrados estão expostos a seguir, nas tabelas 20 à 22, bem como, através dos gráficos das figuras 37 e 38.

Tabela 20: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 1

Corpo de prova 1				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	0,20	0,40	0,50
Ponto 02	0,00	0,40	0,70	0,90
Ponto 03	0,00	0,40	0,70	1,00
Ponto 04	0,00	0,70	1,10	1,50
Ponto 05	0,00	0,20	0,30	0,40
Ponto 06	0,00	0,30	0,50	0,70
Ponto 07	0,00	0,50	0,80	1,10
Ponto 08	0,00	0,40	0,70	1,00
Ponto 09	0,00	0,50	0,90	1,30
Ponto 10	0,00	0,40	0,70	0,90
Média		0,40	0,68	0,93
Desvio padrão		0,15	0,23	0,34
C. V. (%)		37,50	33,82	36,56

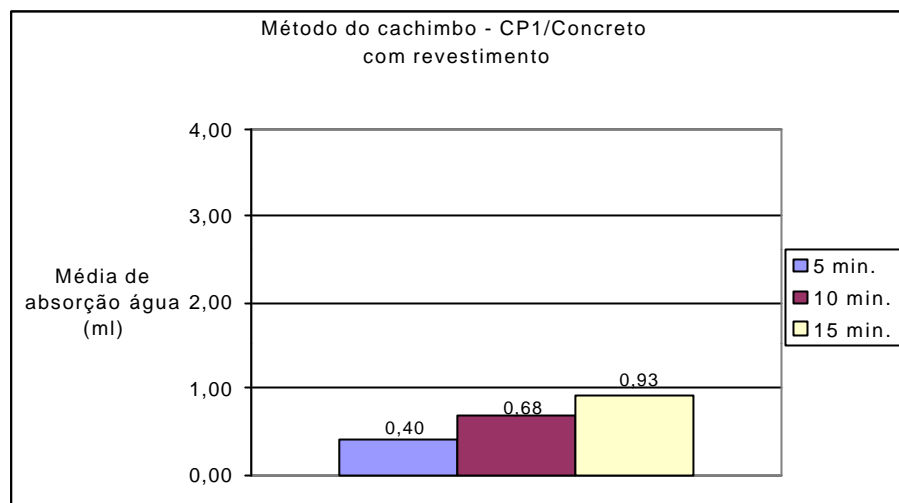


Figura 37: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 1

Tabela 21: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 3

Corpo de prova 3				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	0,50	0,70	0,90
Ponto 02	0,00	0,90	1,40	1,90
Ponto 03	0,00	1,10	1,90	2,60
Ponto 04	0,00	1,00	1,70	2,30
Ponto 05	0,00	0,70	1,10	1,50
Ponto 06	0,00	0,60	0,80	1,00
Ponto 07	0,00	1,70	3,00	> 4,00
Ponto 08	0,00	1,80	2,90	4,00
Ponto 09	0,00	1,50	2,60	3,70
Ponto 10	0,00	0,60	1,00	1,30
Média		1,04	1,71	-
Desvio padrão		0,48	0,86	-
C. V. (%)		46,15	50,29	-

Tabela 22: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 5

Corpo de prova 5				
	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.
Ponto 01	0,00	0,90	1,50	2,10
Ponto 02	0,00	0,50	0,90	1,20
Ponto 03	0,00	0,50	0,80	1,10
Ponto 04	0,00	0,20	0,30	0,40
Ponto 05	0,00	1,20	2,10	3,20
Ponto 06	0,00	0,50	0,80	1,10
Ponto 07	0,00	0,30	0,50	0,60
Ponto 08	0,00	0,50	0,70	0,90
Ponto 09	0,00	0,50	0,70	1,00
Ponto 10	0,00	0,30	0,50	0,70
Média		0,54	0,88	1,23
Desvio padrão		0,30	0,53	0,83
C. V. (%)		55,55	60,23	67,48

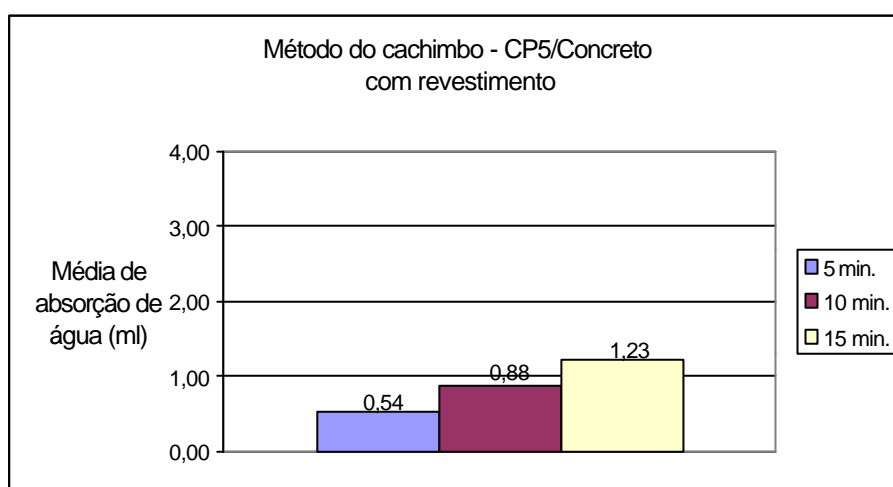


Figura 38: resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo - bloco de concreto com revestimento - corpo de prova 5

6.2 MÉTODO DO IPT - RESULTADOS

6.2.1 Bloco cerâmico sem revestimento

Ao se realizar o ensaio de estanqueidade em paredes sem revestimento, houve grande infiltração de água pelo corpo de prova, impossibilitando a leitura na bureta graduada e, por consequência, a realização do ensaio.

6.2.2 Bloco de concreto sem revestimento

Como já exposto no item acima, da mesma forma, por ocasião da execução do ensaio de estanqueidade nos painéis sem revestimento, o grande volume de água infiltrada impossibilitou a leitura na bureta graduada e, por conseguinte, a realização do ensaio.

6.2.3 Bloco cerâmico com revestimento

Foram avaliados três corpos de prova através do ensaio de estanqueidade à água proposto pelo IPT. Convém salientar que houve problemas na execução do revestimento de um dos corpos de prova cerâmicos, impossibilitando a realização do ensaio, em face da extrema absorção de água. Entretanto, nos quadros 8 e 9, assim como, através dos gráficos das figuras 39 e 40, pode-se observar os resultados dos ensaios realizados nos dois corpos-de-prova cerâmicos restantes.

Corpo de prova 4	Volume do período (ml)	Volume total (ml)
Hora início	0	0
1/2 hora	340	340
1 hora	345	685
2 horas	555	1240
4 horas	830	2070
6 horas	855	2925

Quadro 8: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco cerâmico - corpo de prova 4

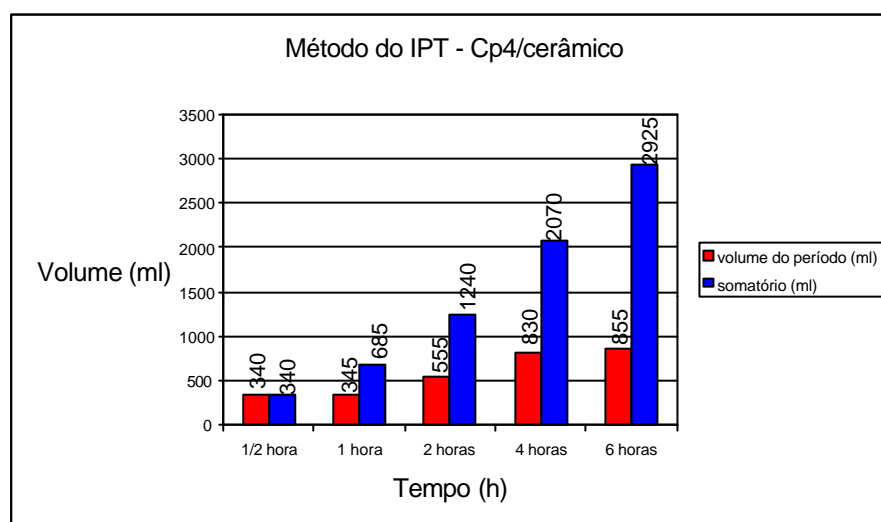


Figura 39: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco cerâmico - corpo de prova 4

Corpo de prova 6	Volume do período (ml)	Somatório (ml)
Hora início	0	0
1/2 hora	815	815
1 hora	615	1430
2 horas	395	1825
4 horas	490	2315
6 horas	695	3010

Quadro 9: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco cerâmico - corpo de prova 6

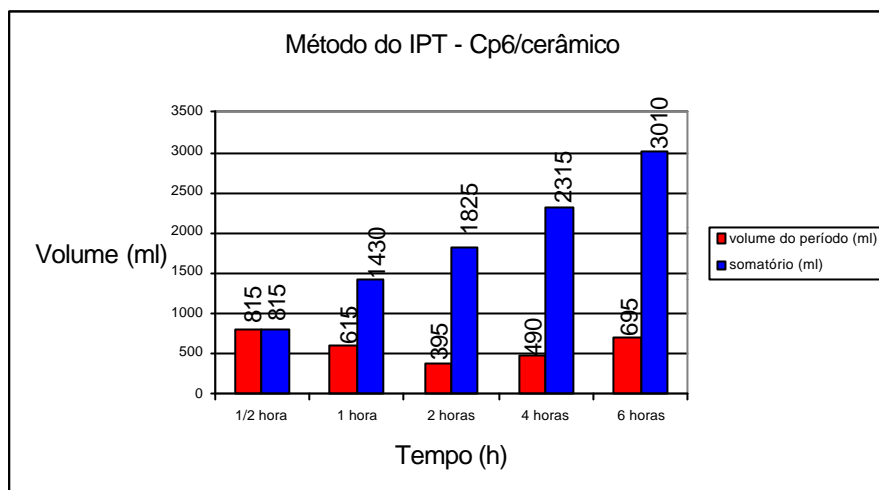


Figura 40: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco cerâmico - corpo de prova 6

6.2.4 Bloco de concreto com revestimento

Três corpos de prova foram ensaiados através do método proposto pelo IPT. Os resultados obtidos no ensaio encontram-se descritos nos quadros 10 ao 12, bem como, através dos gráficos das figuras 41 à 43.

Corpo de prova 1	Volume do período (ml)	Somatório (ml)
Hora início	0	0
1/2 hora	385	385
1 hora	355	740
2 horas	650	1390
4 horas	1115	2505
6 horas	930	3435

Quadro 10: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 1

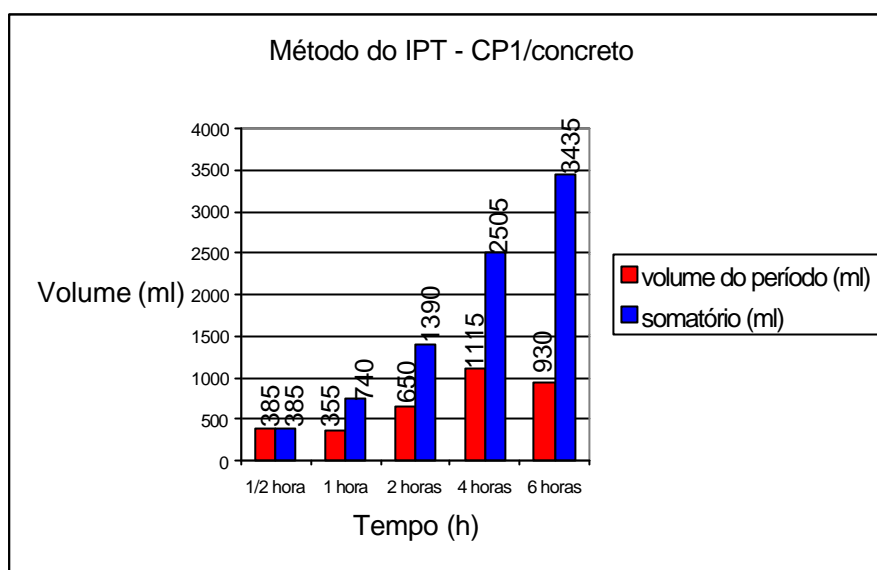


Figura 41: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 1

Corpo de prova 3	Volume do período (ml)	Somatório (ml)
Hora início	0	0
1/2 hora	95	95
1 hora	55	150
2 horas	80	230
4 horas	125	355
6 horas	110	465

Quadro 11: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 3

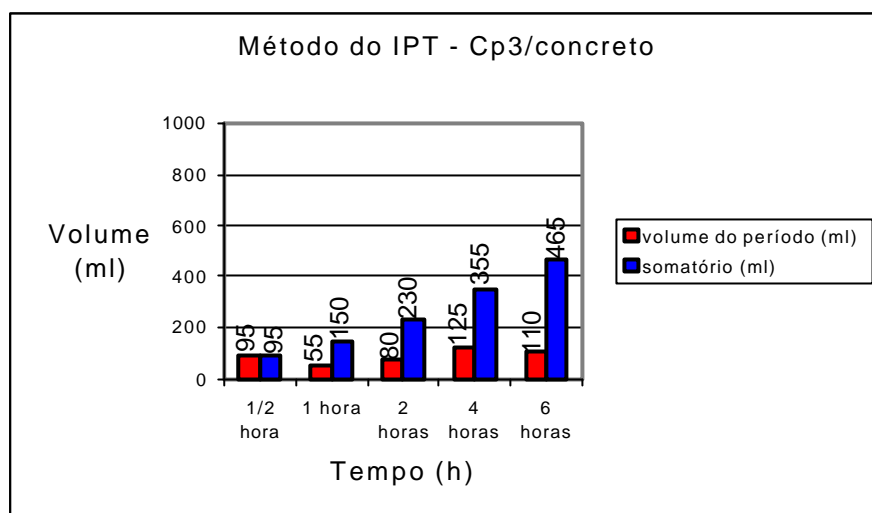


Figura 42: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 3

Corpo de prova 5	Volume do período (ml)	Somatório (ml)
Hora início	0	0
1/2 hora	240	240
1 hora	160	400
2 horas	335	735
4 horas	665	1400
6 horas	650	2050

Quadro 12: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 5

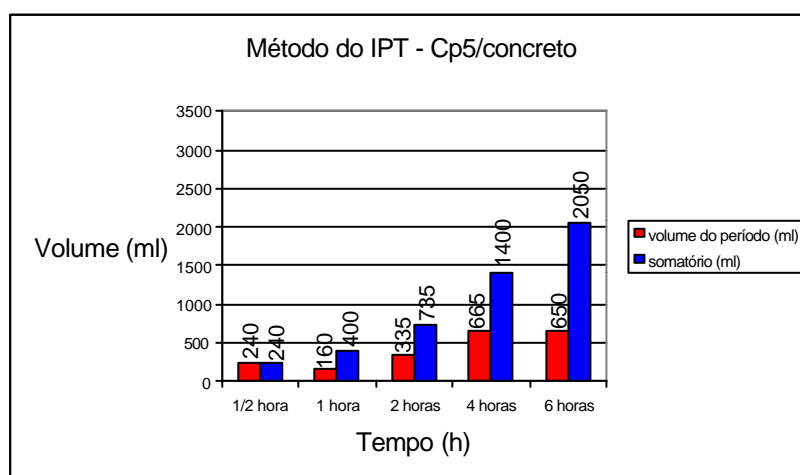


Figura 43: resultados do ensaio de absorção de água pelo método proposto pelo IPT - bloco de concreto - corpo de prova 5

6.3 MÉTODO DA CÂMARA DE ESTANQUEIDADE DA CIENTEC - RESULTADOS

6.3.1 Bloco cerâmico sem revestimento

Todos os três corpos de prova cerâmicos foram avaliados através do ensaio de estanqueidade empregado pela CIENTEC.

Os resultados para os painéis cerâmicos encontram-se enumerados nos quadros 13 ao 15, bem como, visualizados através das figuras 44 à 49.

Primeira etapa		Segunda etapa	
Tempos de leitura	Mancha - cor	Tempos de leitura	Mancha – cor
5 min	-	5 min	Amarelo
15 min	-	15 min	Azul
30 min	-	30 min	Verde
60 min	Verde	60 min	Laranja
90 min	Azul	90 min	Azul
120 min	Laranja	120 min	1/3 área
150 min			

Quadro 13: resultados do ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 2



Figura 44: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 2 - tempo de ensaio: 90 minutos da 1^a. etapa

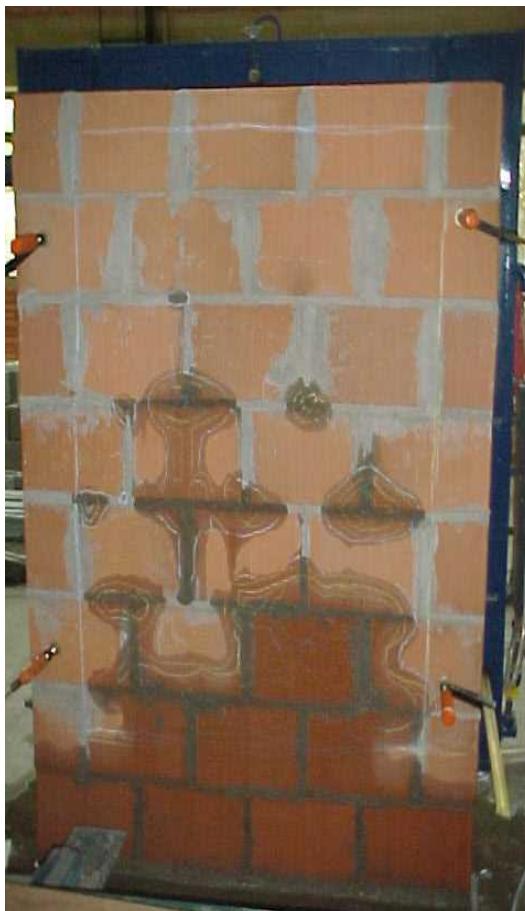


Figura 45: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 2 - tempo de ensaio: 120 minutos da 2^a. etapa

Primeira etapa		Segunda etapa	
Tempos de leitura	Mancha – cor	Tempos de leitura	Mancha - cor
5 min	-	5 min	-
15 min	-	15 min	Amarelo
30 min	Amarelo	30 min	Verde
60 min	Azul	60 min	Verde
90 min	Verde	90 min	Verde
120 min	Rosa	120 min	1/3 área
150 min	Azul		

Quadro 14: resultados do ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 4



Figura 46: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 4 - tempo de ensaio: 120 minutos da 1^a. etapa



Figura 47: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 4 - tempo de ensaio: 15 minutos da 2^a. etapa

Primeira etapa		Segunda etapa	
Tempos de leitura	Mancha - cor	Tempos de leitura	Mancha - cor
5 min	Verde	5 min	Amarelo
15 min	Azul	15 min	Verde
30 min	Laranja	30 min	Verde
60 min	Amarelo	60 min	Verde
90 min	Azul	90 min	Verde
120 min	Verde	120 min	1/3 área
150 min	Laranja		

Quadro 15: resultados do ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 6



Figura 48: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 6 - tempo de ensaio: 15 minutos da 1^a. etapa



Figura 49: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco cerâmico - corpo de prova 6 - tempo de ensaio: 150 minutos da 1ª. etapa

6.3.2 Bloco de concreto sem revestimento

Os três corpos de prova de concreto foram ensaiados conforme método empregado pela CIENTEC. Entretanto, a permeabilidade dos painéis de alvenaria constituídos de blocos de concreto foi extremamente elevada, de modo a impossibilitar a realização do ensaio, visto que era quase imediato o aparecimento de manchas na face posterior ao da realização do ensaio.

Interessante observar, ainda, que as manchas nos corpos de prova executados em blocos de concreto eram disseminados por todo o painel, principalmente no corpo das unidades de

alvenaria, conforme pode-se visualizar nas figuras 50 à 52, ao contrário dos painéis em blocos cerâmicos, onde o início das manchas se dava nas juntas horizontais do painel.



Figura 50: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco de concreto - corpo de prova 1 - tempo de ensaio: anterior a 5 minutos da 1^a. etapa



Figura 51: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco de concreto - corpo de prova 3 - tempo de ensaio: 5 minutos da 1^a. etapa



Figura 52: ensaio de absorção de água pelo método empregado pela CIENTEC - bloco de concreto - corpo de prova 5 - tempo de ensaio: 5 minutos da 1ª. etapa

6.3.3 Bloco cerâmico com revestimento

Após a realização dos ensaios nos corpos de prova cerâmicos sem revestimento, os painéis foram revestidos e, após o período de cura do revestimento, procedeu-se a realização do ensaio.

Os painéis cerâmicos, nesta segunda etapa, não apresentaram nenhuma mancha na face posterior ao da realização do ensaio, decorrido os tempos de leitura determinados pelo método.

6.3.4 Bloco de concreto com revestimento

Da mesma forma, após a realização dos ensaios nos corpos de prova executados com blocos de concreto sem revestimento, os painéis foram revestidos e, após o período de cura do revestimento, procedeu-se novamente a realização do ensaio.

Os painéis de concreto, nesta segunda fase, igualmente não apresentaram nenhuma mancha na face posterior ao da realização do ensaio, decorrido os tempos de leitura determinados pelo método.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo desta análise dos resultados é comparar o desempenho dos painéis elaborados com blocos de concreto e blocos cerâmicos, em todos os métodos de ensaio executados. Busca-se, também, relacionar as propriedades das unidades de alvenaria com o desempenho das paredes, assim como, proceder a avaliação dos métodos de ensaio que apresentaram os melhores resultados.

7.1 PAINÉIS DE ALVENARIA SEM REVESTIMENTO

Os painéis de alvenaria sem revestimento foram avaliados através de dois métodos, isto porque, a alta permeabilidade das paredes, impossibilitou a execução do método proposto pelo IPT. Entretanto, tal fato não impossibilitou que se procedesse à análise do desempenho dos painéis de alvenaria constituídos de blocos cerâmicos e blocos de concreto, neste aspecto.

Quanto ao método do cachimbo, este demonstrou ser um método de ensaio inadequado para conclusões quantitativas quanto à absorção nos corpos-de-prova, uma vez que vários pontos ensaiados apresentaram absorção superior ao volume máximo do cachimbo, ao longo dos períodos propostos pelo ensaio, impossibilitando a quantificação exata dos volumes de água absorvidos.

Entretanto, uma análise qualitativa deste método, permitiu observar que o desempenho quanto a estanqueidade dos blocos cerâmicos é inferior aos blocos de concreto nas juntas dos painéis, sejam nas juntas horizontais ou verticais, com ênfase nas juntas horizontais. Por outro lado, no corpo dos blocos, a situação se inverte, pois neste caso, o desempenho dos blocos cerâmicos é superior.

O péssimo desempenho das juntas horizontais dos blocos cerâmicos pode estar associada ao processo de fabricação destes blocos, feitos por extrusão, que podem acarretar, em função do corte na extrusora, porosidades diferenciadas na face horizontal e vertical do bloco, com influência na absorção de umidade.

Santos (1998, p. 100), realizou estudos de permeabilidade em painéis de alvenaria com e sem revestimento, utilizando o método preconizado pelo IPT. Nas paredes sem revestimento, embora não tenha sido possível a realização do ensaio em face da alta absorção de umidade pelo painel de alvenaria, este autor observou “que o comportamento foi diferenciado nas paredes com blocos cerâmicos e de concreto. Nas de blocos cerâmicos a percolação ocorreu pelas juntas da argamassa e nas de blocos de concreto a percolação foi visualizada nos próprios blocos”.

Já no método empregado pela CIENTEC, observou-se que nos painéis de alvenaria sem revestimento, o resultado apresentado pelos blocos cerâmicos foi superior, embora o desempenho das paredes quanto a estanqueidade, independentemente do tipo de unidade de alvenaria utilizado, tenha sido insatisfatório.

O que chama a atenção nestes resultados é o fato de que nos ensaios de caracterização das unidades de alvenaria, os blocos cerâmicos apresentaram valores menos satisfatórios, tanto de absorção total de umidade quanto de absorção inicial de umidade, conforme se observa nos gráficos das figuras 53 e 54. Seria lógico esperar que os painéis em blocos cerâmicos sem revestimento apresentassem pior desempenho, o que não ocorre na realidade.

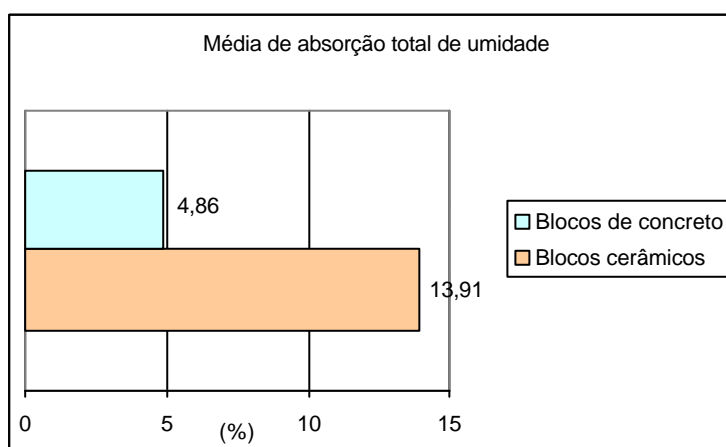


Figura 53: média de absorção total de umidade

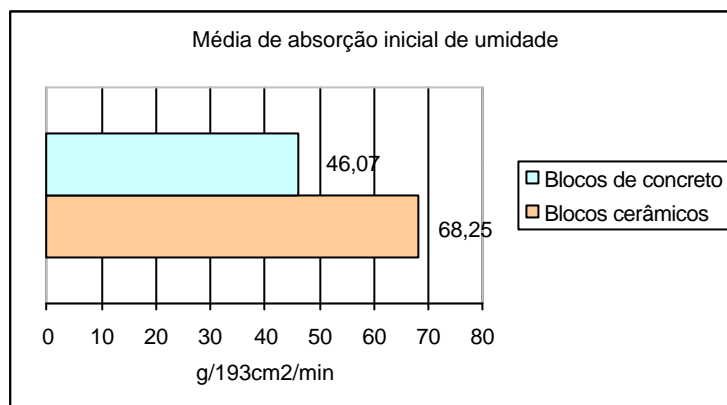


Figura 54: média de absorção inicial de umidade

A provável explicação para este fenômeno pode ser encontrada em artigo apresentado por Gallegos (1995, p. 117-133). De acordo com este autor, um fator que não é levado em consideração nos ensaios de absorção e que possui influência no desempenho das alvenarias é o espectro de poros de suas unidades.

Medições efetuadas com porosímetro de mercúrio revelaram que a quantidade de poros capilares ativos nas unidades cerâmicas é bastante superior às unidades cimentícias. Estes poros capilares ativos são aqueles que possuem raio superior a $0,1 \mu\text{m}$. Entretanto, os poros capilares de raio inferior a $0,1 \mu\text{m}$, embora exerçam elevadas forças de absorção, aumentando por conseqüência o comportamento absorvente da unidade, não são considerados capilarmente ativos porque absorvem quantidades insignificantes de água.

Tendo em vista que o conteúdo de poros de raio maior nas unidades cerâmicas é superior aos das unidades cimentícias, é indicativo de que a sucção das unidades cerâmicas será maior que nas unidades cimentícias, o que ocorre na realidade.

Entretanto, a força capilar, que depende do raio dos poros, é maior quanto menor for o raio médio dos poros. Deste modo, as unidades cimentícias possuem uma força de absorção capilar muito superior.

Esta pode ser a explicação, portanto, para o desempenho inferior dos painéis elaborados com unidades de concreto. Já que estas unidades possuem menor percentual de poros ativos em relação aos blocos cerâmicos, é evidente que os resultados de absorção serão mais favoráveis aos blocos de concreto. Entretanto, em função dos blocos de concreto possuírem uma grande

proporção de poros de raio muito pequenos, as forças capilares serão elevadas e farão com que a água percole rapidamente ao longo do corpo do bloco de concreto, acarretando em um pior desempenho da alvenaria.

Por fim, resta enfatizar que os resultados apresentados pelos painéis de alvenaria não revestidos, avaliados pelo método do cachimbo e pelo método empregado pela CIENTEC, levam a concluir que o desempenho quanto a estanqueidade proporcionado pelos corpos-de-prova executados em blocos cerâmicos e em blocos de concreto, não é satisfatório em nenhum dos casos.

7.2 PAINÉIS DE ALVENARIA COM REVESTIMENTO

Os painéis de alvenaria revestidos foram avaliados pelos três métodos de ensaio. No entanto, conforme mencionado anteriormente, a avaliação pelo método do cachimbo demonstrou ser inadequada para fins de conclusões quantitativas quanto à absorção nos corpos-de-prova, por impossibilitar a quantificação exata dos volumes de água absorvidos.

Contudo, pela análise qualitativa do ensaio, pode-se observar que nas paredes revestidas houve significativa redução da absorção de umidade nos painéis de alvenaria, sejam eles constituídos por blocos cerâmicos como por blocos de concreto. Pode-se dizer, inclusive, que a diferença na absorção de água permite enfatizar a extrema importância do revestimento para a redução da absorção de água nos painéis de alvenaria.

Por outro lado, o método proposto pelo IPT, foi realizado em três painéis de concreto e dois painéis cerâmicos, em virtude de problemas na execução do revestimento em um dos painéis cerâmicos. Por outro lado, um dos painéis de alvenaria executados em blocos de concreto apresentou valores de absorção pouco coerentes em relação aos demais e, devido a isto, os dados obtidos não foram levados em consideração na análise dos resultados.

Os gráficos das figuras 55 à 57 descrevem os resultados do ensaio para os painéis executados em blocos cerâmicos e blocos de concreto.

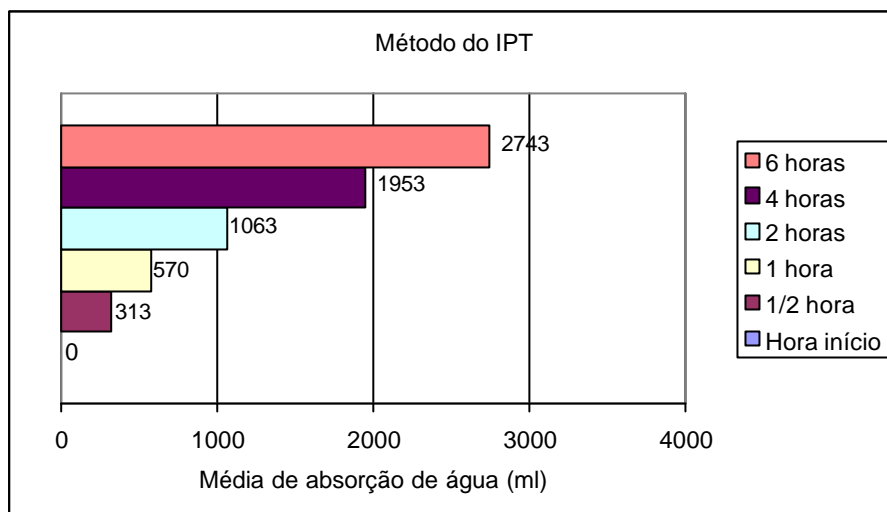


Figura 55: absorção de umidade – blocos de concreto com revestimento – método do IPT

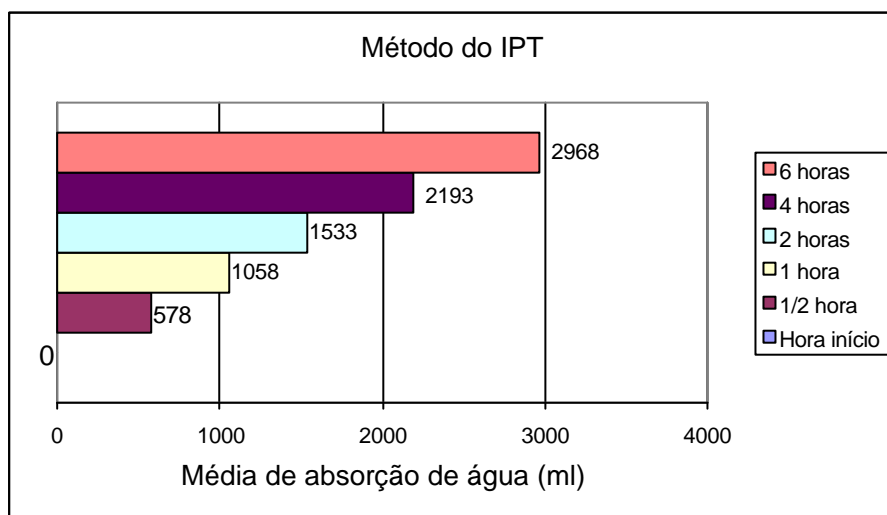


Figura 56: absorção de umidade – blocos cerâmicos com revestimento – método do IPT

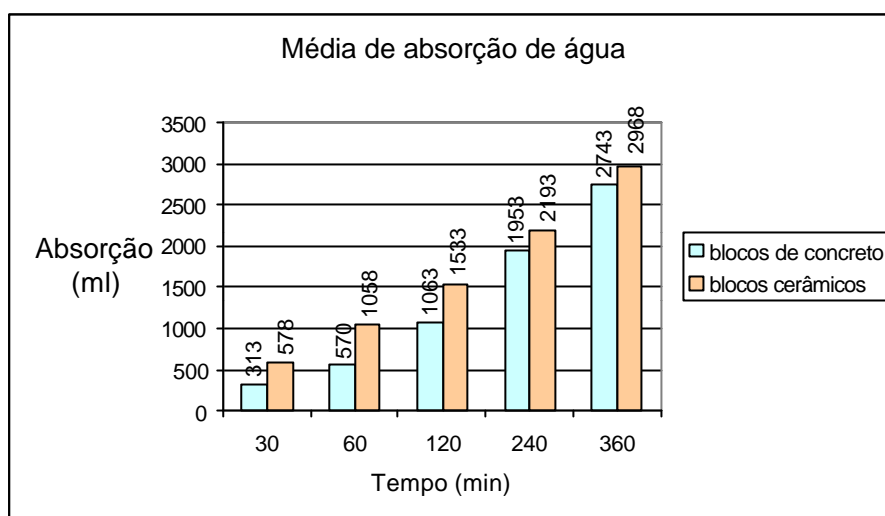


Figura 57: comparativo de absorção de umidade – blocos cerâmicos e blocos de concreto com revestimento – método do IPT

Observou-se nos resultados obtidos pelo método proposto pelo IPT, que a diferença de absorção de umidade existente entre as unidades, que é superior nos blocos cerâmicos, tende a reduzir ao longo da realização do ensaio, sendo que, ao final deste, a absorção dos blocos cerâmicos é apenas 8% superior aos dos blocos de concreto.

Neste aspecto, é interessante citar novamente o trabalho de Santos (1998, p. 100), tendo em vista que segundo este autor, nas paredes revestidas e ensaiadas através do método preconizado pelo IPT, ficou evidenciado a relação entre juntas de argamassa e permeabilidade dos painéis de alvenaria. No trabalho acima citado verificou-se que nos painéis de alvenaria que não possuíam a junta vertical preenchida, sejam eles constituídos por blocos cerâmicos ou por blocos de concreto, houve uma diminuição do volume de água absorvido, comprovando serem as juntas de argamassa os **pontos fracos** do sistema alvenaria.

Já o método empregado pela CIENTEC, demonstrou que tanto nos painéis de alvenaria executados em blocos cerâmicos como nos executados em blocos de concreto, as paredes revestidas apresentaram comportamento satisfatório quanto à absorção de umidade, não apresentando manchas úmidas após o período de execução do ensaio.

Por fim, a comparação dos resultados obtidos em painéis revestidos, confirma a superioridade do desempenho das alvenarias com revestimento, quando comparadas com alvenarias não revestidas, ratificando estudos desenvolvidos por Kazmierczak (1989, p. 104) e Bauer (1987,

p. 150). Neste caso, tanto os painéis executados com blocos cerâmicos quanto com blocos de concreto apresentaram desempenho satisfatório.

7.3 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE ENSAIO

Embora os métodos de ensaio de avaliação a estanqueidade à água utilizados sejam aceitos e aplicados pelo meio técnico, existem limitações, tais como:

- a) a dificuldade de reproduzir em laboratório, as condições de exposição dos vários fatores climáticos que agem sobre as alvenarias – intensidade da chuva, vento, umidade do ar – durante a realização do ensaio;
- b) as dimensões e número de corpos de prova não refletem as grandes superfícies de alvenaria existentes no canteiro de obras;
- c) a variabilidade da mão-de-obra que executará o serviço é uma variável que não é levada em consideração por estes métodos;
- d) as alvenarias nas edificações sofrem ações do intemperismo ao longo do tempo, entretanto, os corpos de prova não sofrem estas ações em laboratório.

Os métodos de campo utilizados – método do cachimbo e método do IPT – apresentam como vantagem a possibilidade de ensaiar a alvenaria da própria edificação em estudo, uma vez que a reprodução desta alvenaria em laboratório é praticamente impossível. Ambos os métodos são de fácil leitura, fácil operação, não requerem nenhum sistema especial de transporte da aparelhagem, possuem baixo custo operacional e não causam alterações no revestimento testado. O método do IPT possui, ainda, a vantagem adicional de ensaiar uma área maior da alvenaria, de modo a avaliar de modo simultâneo o componente e as juntas de argamassa.

Entretanto, estes métodos determinam apenas a permeabilidade superficial da alvenaria e não o seu desempenho como componente exposto às ações do meio ambiente. Ambos possuem somente capacidade de simular as forças devido a capilaridade e a gravidade, no entanto, não simulam a energia cinética das gotas de chuva e a pressão devida ao vento. Além disto, conforme verificado experimentalmente, o método do cachimbo não é adequado para utilização em elementos com alta absorção de umidade.

Por outro lado, o método empregado pela CIENTEC busca simular todas as ações incidentes sobre a alvenaria, inclusive, a energia cinética das gotas de chuva e a pressão do vento. Tem como vantagem, ainda, ser um método conclusivo quanto ao desempenho das alvenarias expostas à ação das chuvas. No entanto, este método permite sua utilização apenas em corpos de prova moldados em laboratório, cujas características e ações incidentes não correspondem às existentes nas alvenarias que compõe a edificação, em função de problemas operacionais e para o transporte da câmara de realização dos ensaios. Apresenta como desvantagem em relação aos outros métodos citados, a sua operação mais complexa e o custo da aparelhagem e operação mais elevada.

O quadro 16 apresenta um comparativo dos métodos de ensaio utilizados experimentalmente, apresentando suas vantagens e desvantagens.

Método	Vantagens	Desvantagens
Método do cachimbo	Possibilitam ensaios de paredes em edificações; Fácil leitura e operação; Não necessita de sistema de transporte especial; Baixo custo operacional.	Determina apenas a permeabilidade superficial da alvenaria; Não simula algumas ações incidentes sobre a alvenaria, como, energia cinética e pressão do vento; Não é um método adequado para avaliar elementos com alta absorção de água.
Método preconizado pelo IPT	Possibilitam ensaios de paredes em edificações; Fácil leitura e operação; Não necessita de sistema de transporte especial; Baixo custo operacional; Permite verificar a absorção nas juntas e no componente simultaneamente.	Determina apenas a permeabilidade superficial da alvenaria; Não simula algumas ações incidentes sobre a alvenaria – energia cinética e pressão do vento.
Método empregado pela CIENTEC	Simula todas as ações incidentes sobre a alvenaria, quais sejam, gravidade, capilaridade, energia cinética e pressão do vento; Método conclusivo quanto ao desempenho da alvenaria exposta a ação das chuvas.	Avalia somente corpos de prova moldados em laboratório; Operação complexa; Custo operacional e de equipamentos mais elevada.

Quadro 16: comparativo dos ensaios experimentais

8 CONCLUSÕES

O levantamento bibliográfico efetuado demonstrou que uma grande parcela das patologias que surgem nas edificações, tanto em nível nacional como em outros países, são provenientes da umidade. Apesar disto, observa-se que as alvenarias continuam sendo executadas sem a mínima preocupação com critérios adequados de desempenho, bem como, não existem maiores cuidados na escolha de seus materiais constituintes e, tampouco, de sua compatibilidade.

Além disto, poucos são os estudos em nosso país que fazem referência ao desempenho da alvenaria como sistema, mas sim, tratam apenas dos materiais que a constituem individualmente. A normalização brasileira não buscou, da mesma forma, a exemplo na NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), realizar um levantamento das condições de exposição existentes nas diversas regiões do país, de modo a exigir critérios mínimos de desempenho para as alvenarias para cada região.

Da mesma maneira, conforme mencionado neste estudo, embora existam diversos tipos de ensaio para avaliação da capacidade estanque em alvenarias, preconizados por vários institutos de pesquisa, não existe um método normalizado no país para servir de referência quando da análise do desempenho do sistema alvenaria.

Nos ensaios realizados no presente estudo, em painéis constituídos por blocos cerâmicos e blocos de concreto sem revestimento, pode-se verificar que o desempenho de todos os painéis de alvenaria, independentemente do tipo de unidade utilizado, não foi satisfatório. Este fato vem demonstrar a importância do revestimento de argamassa para a estanqueidade das alvenarias.

Com relação às paredes revestidas, o desempenho apresentado pelos painéis, tanto naqueles constituídos por blocos cerâmicos como por blocos de concreto, foi satisfatório. Conclui-se, portanto, que o revestimento de argamassa executado nos painéis de alvenaria foi responsável pela significativa melhoria de sua capacidade estanque. Deste modo, ressalta-se que os estudos efetuados sugerem que, para as condições de exposição a que as paredes estão

submetidas no Estado do Rio Grande do Sul, é aconselhável a execução de revestimento nas alvenarias, de modo a evitar a percolação de umidade.

Quanto aos métodos de ensaio utilizados, o método do cachimbo e o método preconizado pelo IPT possibilitam realizar os ensaios na própria alvenaria da edificação em estudo. Possuem facilidade de operação e transporte e baixo custo operacional. Entretanto, estes métodos determinam experimentalmente apenas a permeabilidade superficial da alvenaria e não o seu desempenho como componente exposto às ações do meio. Ambos possuem apenas capacidade de simular as forças devido a capilaridade e a gravidade, sem simular a energia cinética das gotas de chuva e a pressão devida ao vento.

Por outro lado, o método empregado pela CIENTEC simula todas as ações incidentes sobre a alvenaria, inclusive, a energia cinética das gotas de chuva e a pressão do vento. Apresenta a vantagem de ser um método conclusivo quanto ao desempenho das alvenarias expostas à ação das chuvas. No entanto, este método permite sua utilização apenas em corpos de prova moldados em laboratório, cujas características e ações incidentes não correspondem às existentes nas alvenarias que compõe uma edificação. Em relação aos outros métodos citados, possui ainda desvantagem quanto a operação mais complexa, assim como, custo operacional e de aparelhagem mais elevado.

Apesar disto, o ensaio empregado pela CIENTEC possui uma metodologia baseada em parâmetros meteorológicos que simulam as solicitações de chuva a que estão expostas as alvenarias na cidade de Porto Alegre. Deste modo, trata-se do ensaio mais adequado para verificar o desempenho de paredes quanto a estanqueidade, visto que reproduz com fidelidade as condições de exposição existentes na região metropolitana de Porto Alegre.

Como complemento deste trabalho, sugere-se a realização dos seguintes estudos:

- a) mapeamento das condições de exposição incidentes nas alvenarias, no território nacional, com consequente definição de critérios mínimos de desempenho das alvenarias para cada região do país;
- b) realização de estudos comparativos com outros traços de argamassa, de modo a verificar a melhor compatibilidade traços de argamassas/unidade de alvenaria, no que se refere ao desempenho do sistema alvenaria quanto a sua capacidade estanque;

- c) elaborar uma metodologia que simule o envelhecimento da alvenaria, de modo a propiciar a análise de sua durabilidade ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

ALUCCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. Bolor em edifícios: causas e recomendações. In: INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS. **Tecnologia das Edificações**. São Paulo: Pini, 1988. p. 565-570.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-270-00**: standard specification for mortar for unit masonry. Philadelphia, 2000.

_____. **ASTM C-67-00**: standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. Philadelphia, 2000.

ANTUNES, R. P. N; GRASI, R.; PIRES SOBRINHO, C. W. A. Estudo das propriedades das argamassas no estado fresco utilizadas na região metropolitana do Recife. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p 173-184.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.173**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 6.461**: bloco cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8.043**: bloco cerâmico portante para alvenaria – determinação da área líquida – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8.947**: telha cerâmica – determinação da massa e absorção de água. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 6.123**: forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 12.118**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 7.171**: bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7.184**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 8.042**: bloco cerâmico para alvenaria – formas e dimensões. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7.200**: execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 6.023**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 10.520**: informação e documentação – apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 2001.

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho**. 1987. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1987.

BEICHEL, A. Restauração de alvenaria úmida com salinidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p 357-362.

BIANCHIN, A. C. **Influência do proporcionamento dos materiais constituintes no desempenho de argamassas para reboco de recuperação de alvenarias contaminadas por umidade e sais**. 1999. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1999.

BOGGIO, A. J.; SOLANO, R. Algumas análises sobre a aderência entre tijolo e argamassa baseados na análise microestrutural da interface. In: ENCONTRO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 10., 1990, Gramado. **Anais...** Gramado: SERGS, 1990. p 313-330.

BRITISH STANDARDS. **BS 5.628-1**: code of practice for use of masonry. Structural use of unreinforced masonry – part I. London, 1992.

BUSSAB, S; CURY, F. J. Arquitetura. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo, 1990. p. 17-42.

CAVALHEIRO, O. P. Argamassa de assentamento: receita, dosagem ou adequação de traço?. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 1995. p 134-142.

CINCOTTO, M. A; SILVA, M. A.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. Boletim 68. 118 p.

COSTA, E. C. **Física aplicada à construção**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974. 260 p.

COSTELLA, M. F.; GEYER, A. **Patologia da umidade**: estudo de caso. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4; CONGRESSO DE CONTROLE DA QUALIDADE, 6, 1997, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS/CPGEC, 1997. p 373-379.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996. 360 p.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **Hydrofuges de surface – choix et mise en oeuvre (Annexe 1)**. Bruxelles, 1982. Note d'Information Technique 140.

_____. **Transport de l'humidite dans les materiaux poreaux**: bases theoriques. Bruxelles: CSTC Revue (1): 7-12, mars 1982.

BIANCHIN, A. C. **Influência do proporcionamento dos materiais constituintes no desempenho de argamassas para reboco de recuperação de alvenarias contaminadas por umidade e sais**. 1999. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1999.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado**: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul. 1988. 220 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS, Porto Alegre, 1988.

DAVISON, J. I. Loss of moisture from fresh mortars to brick. **Materials, Research & Standards**. Philadelphia: p. 385-388, may 1961.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: Associação Nacional da Indústria Cerâmica, 1999. 79 p.

BIANCHIN, A. C. **Influência do proporcionamento dos materiais constituintes no desempenho de argamassas para reboco de recuperação de alvenarias contaminadas por umidade e sais**. 1999. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1999.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizados em Porto Alegre**. 2000. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ UFRGS, Porto Alegre, 2000.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. São Paulo: Pini:, 1994. 221 p.

GALLEGOS, E. **Albañileria estructural**. Lima: Pontificia Universidad Católica del Peru, 1989. 375 p.

_____. Adhesión entre el mortero y las unidades de albañileria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 1995. p 117-133.

GRATWICH, R. T. **La humedad en la construccion**: sus causas y remedios. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1971. 334 p.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal**: fundamentos e aplicações na engenharia civil. São Paulo: Pini, 1997. 285 p.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em paredes**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995. 168 p.

IOSHIMOTO, E. Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais. In: INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS. **Tecnologia das Edificações**. São Paulo: Pini, 1988. p. 545-548.

JAWOROSKI, H. C.; CAMPAGNOLO, J. L. Aderência de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural. In: ENCONTRO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 10., 1990, Gramado. **Anais...** Gramado: SERGS, 1990. p 331-348.

JAWOROWSKI, H. C. **Estudo experimental em alvenaria estrutural: resistência à compressão e resistência de aderência**. 1990. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1990.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de paredes de materiais cerâmicos a penetração de água da chuva: uma análise de fatores condicionantes**. 1989. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1989.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto**: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: Livraria Interciência, 1977. v. 1. 272 p.

LOUVIGNÉ, M. **Vaincre l'humidite dans la maison**. Paris: Eyrolles, 1986. 167 p.

NAPPI, S. C. B. Umidade em paredes. In: CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL, 1996, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Pini, 1996. p 537-545.

PEREIRA, J. L. Racionalização. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo, 1990. p. 43-72.

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (1ª. parte) In: INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS. **Tecnologia das Edificações**. São Paulo: Pini, 1988. p. 571-574.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. Porto Alegre: Editora Globo, 1976. 435 p.

PICCHI, F. A. **Impermeabilização de coberturas**. São Paulo: Pini, 1986. 216 p.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimento de paredes: método do cachimbo**. 1986. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1986.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. A reologia da pasta de cimento e a influencia da cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 1995. p 25-32.

ROMAN, H. R; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999. 83 p.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SANTOS, M. D. F. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso**. 1998. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFSM, Santa Maria, 1998.

SOUZA, G. F. Eflorescências nas argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p 344-356.

THOMAZ, E. Patologia. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo, 1990. p. 97-117.

_____. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 194 p.

TORRES, M. I. M. **Humidade ascensional em paredes**. 1998. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 1998.

TURIK, N. **Estabelecimento de exigências de desempenho higrotérmico da envolvente de habitações populares térreas: estudo aplicado a casa cohab tipo RS-16-i, 3-42**. 1985. 223 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1985.

ULSAMER, F. **Las humedades en la construccion**. Barcelona: Ediciones CEAC, 1986. 222 p.

VERÇOSA, E. J. **Impermeabilização na construção**. Porto Alegre: Sagra, 1983. 151 p.

_____. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1991. 173 p.